

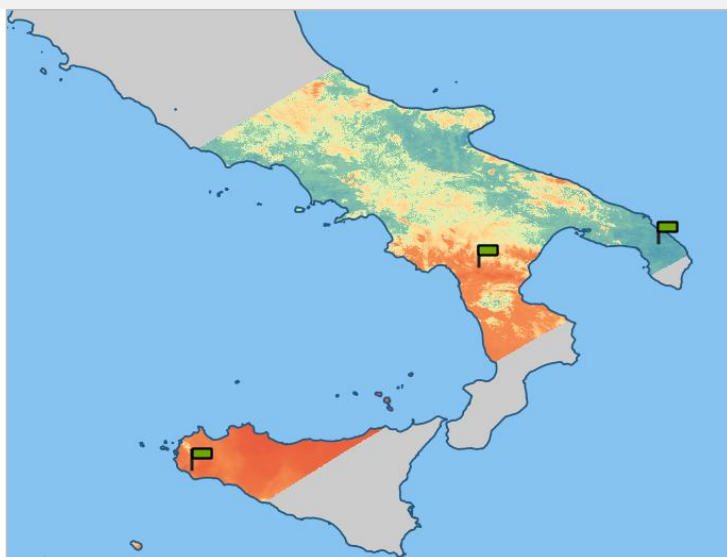


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ & ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης

ΔΠΜΣ “ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ”

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Εκτίμηση Αερίων του Θερμοκηπίου (CH_4 , CO , CO_2) με
Τηλεπισκοπικά Δεδομένα ECOSTRESS και Sentinel-5P**



Παπαγεωργίου Ανδρεανή
Αθήνα, Οκτώβριος 2019

ΔΠΜΣ “ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ”

Μεταπτυχιακή Εργασία

Εκτίμηση Αερίων του Θερμοκηπίου (CH₄, CO, CO₂) με Τηλεπισκοπικά
Δεδομένα ECOSTRESS και Sentinel-5P

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή στις 24/10/2019

.....

Δρ. Κ. Καράντζαλος
Αν. Καθηγητής, ΕΜΠ

.....

Δρ. Δ. Αργιαλάς
Καθηγητής, ΕΜΠ

.....

Δρ. Χ. Κοντοές
Διευθ. Ερευνών, ΙΑΑΔΕΤ

.....

Ανδρεανή Παπαγεωργίου

Διπλωματούχος Αγρονόμος Τοπογράφος Μηχανικός



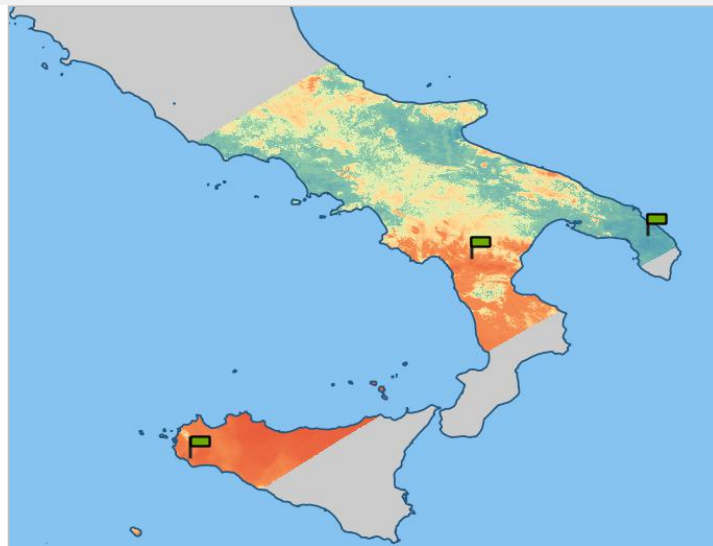


NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
SCHOOL OF RURAL AND SURVEYING ENGINEERING
Laboratory of Remote Sensing

Master in GEOINFORMATICS

Master Thesis

**Estimating Greenhouse Gases (CH₄, CO, CO₂) with
Remote Sensing Data of ECOSTRESS and Sentinel-5P**



Papageorgiou Andreani
Athens, October 2019



Περίληψη

Η ανάγκη παρακολούθησης και προστασίας της ποιότητας της ατμόσφαιρας είναι δεδομένη και επιτακτική τόσο για την ανθρώπινη υγεία αλλά και για το υπόλοιπο οικοσύστημα. Είναι σημαντικό επίσης οι μέθοδοι παρακολούθησης να είναι αξιόπιστες και σχετικά εφικτού κόστους για μεγάλες γεωγραφικές κλίμακες. Νέες τεχνολογίες και μέθοδοι τηλεπισκόπησης μπορούν να συνεισφέρουν προς αυτή την κατεύθυνση.

Στην εργασία εξετάστηκε η δυνατότητα εκτίμησης της συγκέντρωσης των αερίων του θερμοκηπίου (CO, CO₂, CH₄) με χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και μεθόδων. Πραγματοποιήθηκαν έλεγχοι συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων που ορίστηκαν ως δεδομένα ελέγχου και δεικτών που προέκυψαν από τα θερμικά δεδομένα ECOSTRESS. Επίσης αξιολογήθηκαν τα δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα που παρέχει ο δορυφόρος Sentinel-5P σε δύο περιοχές της Ιταλίας με αποτέλεσμα να προταθούν νέα μοντέλα που προσαρμόζονται καλύτερα στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Μελετήθηκαν δεδομένα από επίγειους σταθμούς στην Ιταλία για την περίοδο Ιούλιος 2018 έως Ιούνιος 2019, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων.

Από τις συσχετίσεις προέκυψαν εξισώσεις με τις οποίες μπορεί να γίνει εκτίμηση της συγκέντρωσης των αερίων στην ατμόσφαιρα. Για τον έλεγχο συσχετίσεων πραγματοποιήθηκε ανάλυση παλινδρόμησης με χρήση γραμμικών και μη γραμμικών μοντέλων. Τέλος, δημιουργήθηκαν χάρτες εκτίμησης συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (CO), διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) με χρήση των μοντέλων που προέκυψαν από τη μελέτη.

Τα αποτελέσματα ήταν ενθαρρυντικά ειδικότερα για την εκτίμηση διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) και μεθανίου (CH₄) στην περιοχή της Νότιας Ιταλίας από θερμικά δεδομένα. Επίσης ενθαρρυντικά αποτελέσματα προέκυψαν από τα μοντέλα που προσαρμόζουν τα δορυφορικά δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα (CO) Sentinel-5P, σε τοπικό επίπεδο.

Abstract

Monitoring and protection of air quality is imperative for natural ecosystems and human beings. It is important that monitoring techniques to be reliable and affordable. New technologies and methods of remote sensing can contribute towards this end.

This master's thesis aims to study the capabilities of estimating the concentration of greenhouse gases (CH_4 , CO , CO_2) by using remote sensing methods and data. Correlation tests between in situ data (that constitute the reference data) and indexes arising from the spectral information of ECOSTRESS thermal images are conducted. Moreover, Sentinel-5P data of Carbon Monoxide for two specific regions in Italy are evaluated, and the estimates are adjusted locally by new equation models. Data from four ground stations in Italy during the period between July 2018 and June 2019 are studied, depending on data availability.

Equations that estimate the quantity of certain components were calculated. In particular, numerous experiments towards establishing concrete correlations were conducted based on regression analysis. The simple linear model and other non-linear regression models were employed. Once certain correlations were established geospatial maps based on the raw remote sensing data were produced which estimate the concentration of methane (CH_4), carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO_2) around the ground stations of south Italy.

Significant correlations have been found, especially in the case of estimating carbon dioxide (CO_2) and methane (CH_4) concentration in south Italy using thermal data. Moreover, encouraging results have been obtained from improved carbon monoxide (CO) estimation models using satellite Sentinel-5P data.

Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας τη μεταπτυχιακή μου εργασία στα πλαίσια του ΔΠΜΣ Γεωπληροφορικής, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλαν στην περάτωσή της. Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Καράντζαλο ο οποίος με κατεύθυνε επιστημονικά και στη συνέχεια τον κ. Πολ Κολοκούση και τον Αλέξανδρο Φαλάγγα από το εργαστήριο τηλεπισκόπησης για την καθοδήγηση που μου προσέφεραν σχετικά με το τεχνικό και προγραμματιστικό μέρος. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κυρίους Paolo Cristofanelli και Daniele Contini από το Ινστιτούτο Ατμοσφαιρικής Επιστήμης και Κλίματος (ISAC) του Ιταλικού Συμβουλίου Ερευνών (CNR) για την παραχώρηση των επίγειων δεδομένων.

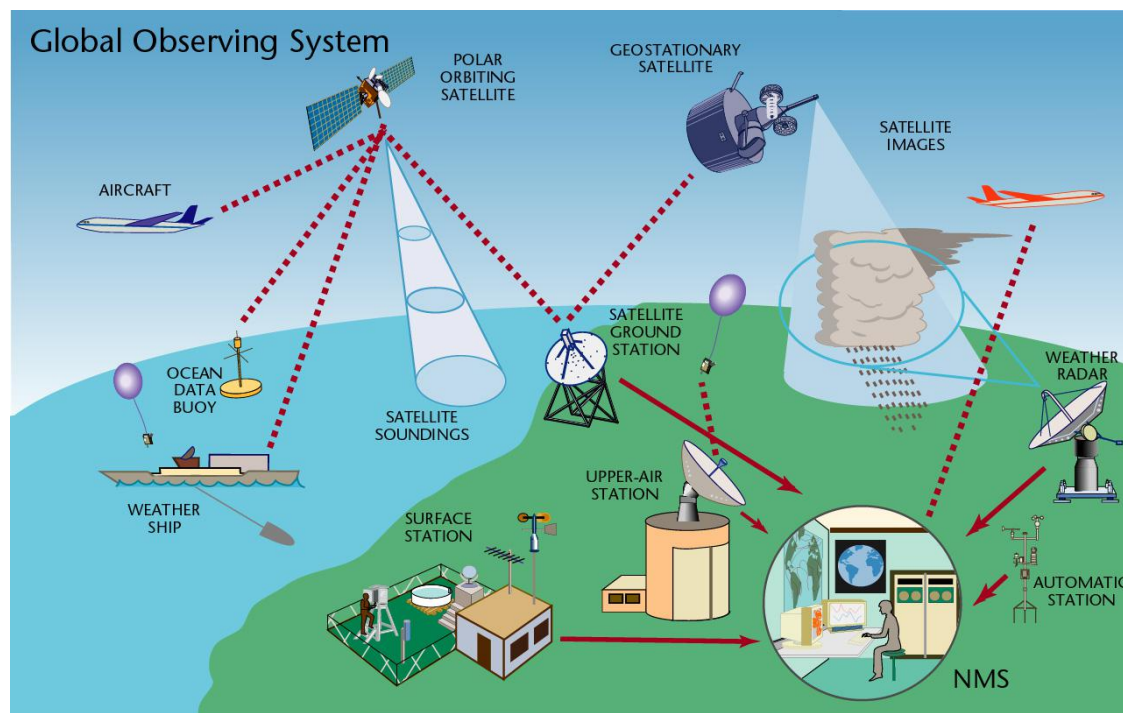
Περιεχόμενα

1 Εισαγωγή.....	9
1.1 Κίνητρο και Στόχος.....	10
2 Θεωρητικό υπόβαθρο.....	11
2.1 Ατμόσφαιρα και ποιοτικές παράμετροι.....	11
2.1.1 Μεθάνιο (CH_4).....	12
2.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO).....	13
2.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2).....	13
2.2 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον.....	14
2.3 Αποστολή ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS).....	16
2.3.1 Θερμικό υπέρυθρο ραδιόμετρο PHyTIR.....	18
2.3.2 Προϊόντα ECO1BRAD.....	20
2.4 Δορυφορική αποστολή Sentinel-5 Precursor.....	22
2.4.1 Δορυφορικός ατμοσφαιρικός αισθητήρας TROPOMI.....	23
2.4.2 Προϊόντα Sentinel-5 Precursor.....	23
2.5 Ανάλυση παλινδρόμησης.....	24
2.5.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση.....	25
2.5.2 Μη Γραμμική Παλινδρόμηση.....	25
3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	27
4 Μεθοδολογία.....	29
4.1 Περιοχή μελέτης.....	29
4.2 Δεδομένα ελέγχου.....	30
4.3 Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα και δείκτες συσχέτισης.....	32
4.3.1 Συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων.....	32
4.3.2 Δημιουργία δεικτών συσχετίσεων.....	33
4.3.3 Ανάλυση συσχέτισης.....	39
4.4 Αξιολόγηση δορυφορικών δεδομένων μονοξειδίου του άνθρακα Sentinel-5P και αναπροσαρμογή μοντέλων.....	39
4.4.1 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων ελέγχου.....	39
4.4.2 Ανάλυση δεδομένων και βελτίωση μοντέλων εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα (CO) ανά σταθμό.....	40
5 Αποτελέσματα.....	43

5.1 Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα.....	43
5.1.1 Μεθάνιο.....	44
5.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	66
5.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα.....	77
5.2 Δεδομένα Sentinel-5P και μοντέλα εκτίμησης CO.....	95
6 Συμπεράσματα και προτάσεις.....	98
6.1 Συμπεράσματα.....	98
6.1.1 Μεθάνιο.....	98
6.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα.....	100
6.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα.....	101
6.1.4 Γενικά συμπεράσματα.....	103
6.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις.....	106
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	107
Διαδικτυακοί τόποι.....	108

1 Εισαγωγή

Η σημασία της παρακολούθησης της ποιότητας του αέρα είναι τεράστια για την ανθρώπινη υγεία και δεν αποτελεί ένα τοπικό ζήτημα, αφού η ρύπανση μεταφέρεται από ένα μέρος σε άλλο μέσω των ανέμων. Αυτά τα χαρακτηριστικά, καθιστούν το ζήτημα της ποιότητας του αέρα πολύ σημαντικό και ταυτόχρονα πολύπλοκο. Η ολοκληρωμένη παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα, απαιτεί υπολογιστικά μοντέλα της ατμόσφαιρας, καθώς και συνδιασμούς παρατηρήσεων από δορυφόρους και επίγειους σταθμούς.



Εικόνα 1: Παγκόσμιο σύστημα παρατήρησης, πηγή: atmosphere.copernicus.eu/observations

Οι R.Kumar, et al. (2018), τονίζουν ότι ένα παγκόσμιο δίκτυο παρακολούθησης και μοντελοποίησης της ποιότητας του αέρα, θα μείωνε δραματικά τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία και στην παραγωγή τροφίμων. Το κόστος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε ανθρώπινες ζωές, αλλά και το οικονομικό κόστος παγκοσμίως, δεν είναι αμελητέο. 7 εκατομμύρια άνθρωποι πεθαίνουν ετησίως λόγω της ρύπανσης του αέρα, ενώ οι ζημιές σε καλλιέργειες ιδιαίτερα καλαμποκιού, σόγιας και σιταριού κοστίζουν στην παγκόσμια οικονομία 5 τρισεκατομμύρια δολάρια ανά έτος. Σύμφωνα με παραδείγματα από πόλεις που εφαρμόστηκε πολιτική μείωσης των ρύπων, υπήρξε σημαντική μείωση των επισκέψεων σε νοσοκομεία για προβλήματα άσθματος και πνευμονικών ασθενειών.

Ο στόχος της πληροφόρησης για την ποιότητα του αέρα, είναι η μείωση της έκθεσης των ανθρώπων στον κίνδυνο. Ευάλωτες ομάδες θα ενημερώνονται και θα αποφεύγουν να κυκλοφορούν στις περιοχές όπου υπάρχει κακής ποιότητας αέρας, σχολεία δεν θα επιτρέπουν εξωτερικές αθλητικές δραστηριότητες ή εργαζόμενοι σε εξωτερικούς χώρους θα σταματούν τις εργασίες τους τις ημέρες όπου οι ρύποι είναι σε ψηλά επίπεδα. Όσον αφορά τις καλλιέργειες, εάν επιτευχθούν εποχικές προβλέψεις, θα δίνουν στους

γεωργούς την ευκαιρία να μεταφέρουν τις ημερομηνίες φύτευσης και συγκομιδής των καλλιεργειών τους.

1.1 Κίνητρο και Στόχος

Κίνητρο για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας αποτέλεσε η ανάγκη παρακολούθησης της ποιότητας της ατμόσφαιρας με σκοπό την προστασία της ανθρώπινης υγείας καθώς και η μελέτη και διερεύνηση τηλεπισκοπικών μεθόδων που προσφέρουν πληροφωρία σε μεγάλες αλλά και τοπικές γεωγραφικές κλίμακες. Ήδη εφαρμόζονται νέες τεχνολογίες και μέθοδοι για την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας μέσω δορυφορικών και επίγειων δεκτών, ωστόσο η χωρική ανάλυση των δορυφορικών μεθόδων που χρησιμοποιούνται για την ατμόσφαιρα είναι της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Πρόσφατη δορυφορική αποστολή, αποτελεί ο δορυφορικός δέκτης Sentinel 5P από την ESA με τυπικό μέγεθος εικονοστοιχείου 7 km x 3.5 km.

Η δυνατότητα που προσφέρουν οι δορυφορικές - τηλεπισκοπικές απεικονίσεις για ευρεία κάλυψη καθιστούν τις μεθόδους που βασίζονται σε τηλεπισκοπικά δεδομένα πιο ελκυστικές, αφού το ζήτημα της ποιότητας του αέρα δεν περιορίζεται χωρικά. Η εφαρμογή μεθόδων που βασίζονται σε ημερήσια δορυφορικά δεδομένα, θα δώσει τη δυνατότητα καθημερινής ενημέρωσης των πολιτών καθώς και δημιουργίας μιας ολοκληρωμένης βάσης δεδομένων για θέματα ποιότητας αέρα με ελάχιστο οικονομικό κόστος.

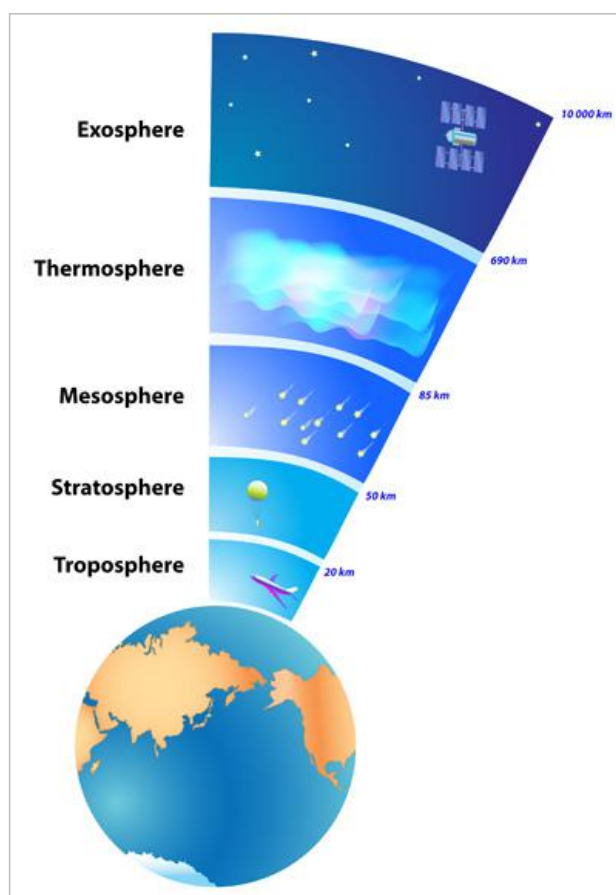
Στόχος της εργασίας ήταν η ανάκτηση ποιοτικών χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας με χρήση δεδομένων ECOSTRESS και Sentinel-5P. Από τις θερμικές εικόνες ECOSTRESS, σκοπός ήταν η ανάκτηση της συγκέντρωσης μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα μέσω δεικτών καναλιών που υπολογίστηκαν. Όσον αφορά τα δεδομένα από το δορυφόρο Sentinel-5P, στόχος ήταν η αξιολόγηση του προϊόντος μονοξειδίου του άνθρακα και η δημιουργία ενός βελτιωμένου μοντέλου εκτίμησής του, που θα βασίζεται όμως στα ίδια δεδομένα.

2 Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1 Ατμόσφαιρα και ποιοτικές παράμετροι

Η ατμόσφαιρα είναι η αέρια μάζα που περιβάλλει τη γη και χωρίζεται σε στρώματα με διαφορετικές πυκνότητες αερίων. Το πιο χαμηλό στρώμα ονομάζεται τροπόσφαιρα, ακολουθούν η στρατόσφαιρα, η μεσόσφαιρα, η θερμόσφαιρα και η εξώσφαιρα. Το στρώμα της τροπόσφαιρας έχει πάχος περίπου 20 χιλιόμετρα στον ισημερινό, ενώ είναι πολύ πιο λεπτό στους πόλους. Αυτό το στρώμα της ατμόσφαιρας αποτελεί το περιβάλλον των φυτών, των ζώων και το δικό μας. Το στρώμα της τροπόσφαιρας είναι δυναμικό. Ανάλογα με το υψόμετρο ο αέρας έχει διαφορετική πυκνότητα και διαφορετική χημική σύσταση.

Ο ξηρός αέρας στην ατμόσφαιρα αποτελείται περίπου από 78% άζωτο, 21% οξυγόνο και 1% αργό. Περιέχει επίσης ίχνη αερίων, όπως διοξείδιο του άνθρακα και μεθάνιο. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (2016), τα ίχνη διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα υπολογίστηκαν περίπου σε 0.0391% το 2011.



Εικόνα 2: Τα στρώματα της ατμόσφαιρας, πηγή: ESA

Η παρακολούθηση και διατήρηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας σε ψηλά επίπεδα είναι πολύ σημαντική, αφού η αναπνοή είναι ζωτικής σημασίας ανάγκη για όλες τις μορφές ζωής στη γη. Επίσης σημαντική είναι η διατήρηση της θερμοκρασίας της γης σε συγκεκριμένα επίπεδα.

Οι αιτίες ρύπανσης του αέρα είναι ανθρωπογενείς αλλά και φυσικές. Η ανθρωπογενής ρύπανση οφείλεται στις εκπομπές από τη βιομηχανία, τα αυτοκίνητα, τις καμινάδες των σπιτιών, τη γεωργία και την κτηνοτροφία. Φυσικά φαινόμενα που προκαλούν ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι εκρήξεις ηφαιστείων, δασικές πυρκαγιές και αμμοθύελλες.

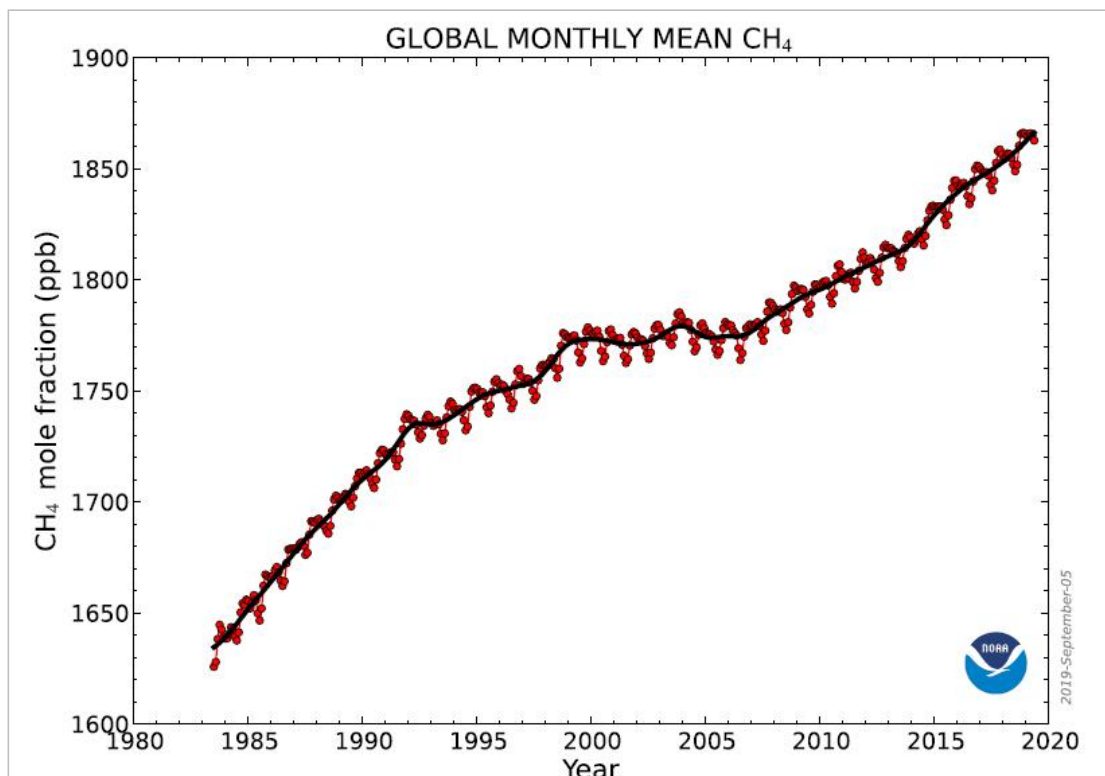
Η κακή ποιότητα του αέρα επηρεάζει αρνητικά την ανθρώπινη υγεία, προκαλεί καρδιακές και αναπνευστικές ασθένειες και χρόνιες παθήσεις. Επίσης επηρεάζει το περιβάλλον και την πολιτιστική μας κληρονομιά. Οι πιο βλαβερές ουσίες για την ανθρώπινη υγεία είναι τα μικροσωματίδια, το διοξείδιο του αζώτου, το όζον και η αιθάλη. Άλλοι σημαντικοί ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι το διοξείδιο του νατρίου, το διοξείδιο του θείου και τα αέρια που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου, που είναι το διοξείδιο του άνθρακα, το μεθάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα.

Η ποσότητα των ατμοσφαιρικών ρύπων διαφέρει από μέρος σε μέρος, κατά τις διαφορετικές ώρες της μέρας και ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Μετά την εκπομπή τους οι ρύποι, αναλόγως της ουσίας εξαπλώνονται, παραμένουν κοντά στην πηγή ή διαδίδονται ευρέως. Κατά τις ώρες αιχμής της κίνησης των αυτοκινήτων, οι ρύποι στην ατμόσφαιρα είναι αυξημένοι. Σχετικά με τις καιρικές συνθήκες, επηρεάζει κυρίως ο άνεμος. Όταν δεν υπάρχουν άνεμοι οι συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών ρύπων είναι αυξημένες σε ορισμένες περιοχές, όμως μπορεί σε περιοχές που δεν υπάρχει πηγή ρύπανσης να μεταφερθούν ρύποι λόγω των ανέμων.

Για την καλύτερη κατανόηση και αντιμετώπιση του ζητήματος, χρειάζονται αξιόπιστα δεδομένα σχετικά με το που και πώς ρυπαίνεται ο αέρας καθώς και για το πώς διαδίδεται η ρύπανση.

2.1.1 Μεθάνιο (CH_4)

Το μεθάνιο είναι ένα από τα αέρια που ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου και είναι πολύ ισχυρό ως προς την ιδιότητά του να παγιδεύει τη θερμότητα στη γη. Αυτή η ιδιότητα του μεθανίου ξεπερνά περίπου 30 φορές την αντίστοιχη ιδιότητα του διοξειδίου του άνθρακα. Όσον αφορά το χρόνο ζωής του μεθανίου στην ατμόσφαιρα, εκτιμάται περίπου στα 12 έτη. Κύριες πηγές μεθανίου είναι η βιομηχανία ορυκτών καυσίμων, οι χώροι υγειονομικής ταφής, η κτηνοτροφία, η καλλιέργεια ρυζιού και οι λίμνες. Η συγκέντρωση μεθανίου στην ατμόσφαιρα ακολουθεί ανοδική πορεία, σύμφωνα με στοιχεία, από τη βιομηχανική επανάσταση και έπειτα. Στο διάγραμμα 1, φαίνεται η ανοδική πορεία που ακολουθεί η συγκέντρωση μεθανίου στην ατμόσφαιρα από το 1984 έως σήμερα.



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια μέση μηνιαία συγκέντρωση CH₄ από το 1984 έως σήμερα, πηγή: NOAA Earth System Research Laboratory

2.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

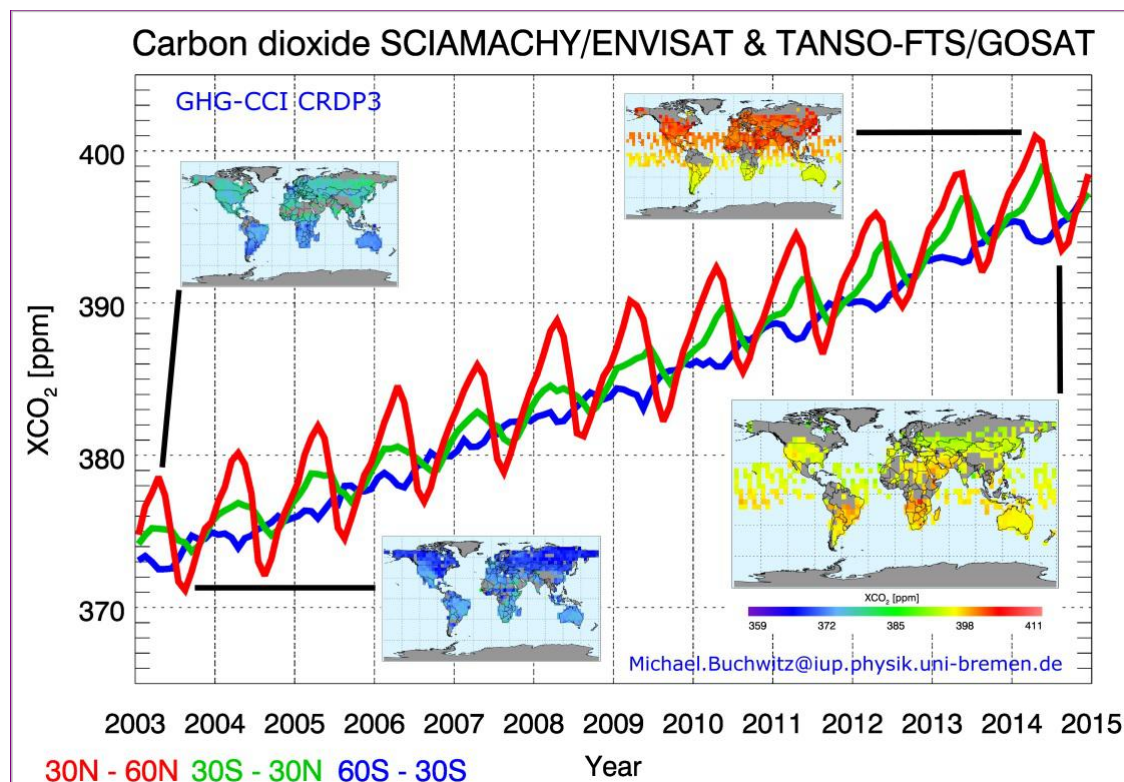
Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι βραχύβιο αέριο του θερμοκηπίου που ίχνη του περιέχονται στην ατμόσφαιρα. Η τυπική συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην τροπόσφαιρα είναι περίπου 0.1 ppm, ενώ σε μια τυπική αστική περιοχή η συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα ανέρχεται στα 10 ppm. Σε περιοχές έντονης κίνησης αυτοκινήτων στους δρόμους, μπορεί να φτάσει 50 ppm [UCAR, 2017].

Φυσικές πηγές μονοξειδίου του άνθρακα αποτελούν τα ηφαίστεια και οι φυσικές πυρκαγιές. Παράγεται όταν καύσιμα όπως πετρέλαιο και ξύλο καίγονται ημιτελώς. Ορισμένες βιομηχανικές διεργασίες καθώς και οι εκπομπές από τα αυτοκίνητα, είναι από τους σημαντικότερους παράγοντες απελευθέρωσης μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Εξαπλώνεται στην τροπόσφαιρα μέσω των ανέμων και επιφέρει έμμεσα αποτελέσματα στην ατμοσφαιρική ρύπανση επειδή επηρεάζει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να καθαρίζει από άλλα ρυπογόνα αέρια. Επίσης σε συνδιασμό με την ηλιοφάνεια και άλλους ρύπους, συμμετέχει στο σχηματισμό ατμοσφαιρικού όζοντος και αστικού νέφους.

2.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)

Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ευεργετικό για τη ζωή στη γη, αφού χωρίς αυτό ο πλανήτης θα ήταν κρύος. Επίσης μαζί με το νερό αποτελούν τα συστατικά για τη φωτοσύνθεση των φυτών. Είναι όμως το αέριο που συμβάλλει περισσότερο στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, λόγω της ιδιότητάς του να παγιδεύει τη θερμότητα. Η σταδιακή αύξηση της συγκέντρωσής του στην ατμόσφαιρα, οδηγεί σε σταδιακή αύξηση

της μέσης θερμοκρασίας στη γη. Οι επιστήμονες εκτιμούν ότι πριν τη βιομηχανική επανάσταση η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα στον ξηρό αέρα της ατμόσφαιρας ήταν περίπου 270 ppm, ενώ τώρα φτάνει περίπου 400 ppm [UCAR, 2006]. Στο διάγραμμα 2, παρουσιάζεται η αυξητική πορεία συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα όπως καταγράφεται από δορυφορικά δεδομένα.



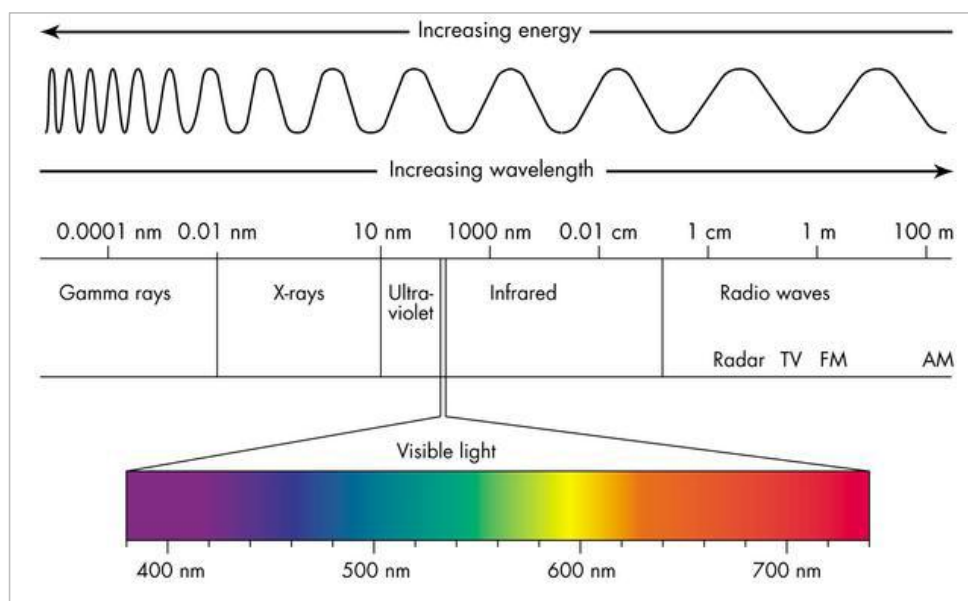
Διάγραμμα 2: Συγκέντρωση CO₂, όπως καταγράφεται από δορυφόρους, πηγή: Univ. Bremen/SRON/Univ. Leicester/ESA/DLR/JAXA/NIES

Διοξείδιο του άνθρακα εκλύεται στην ατμόσφαιρα από ανθρωπογενείς ή φυσικές διαδικασίες. Η καύση ορυκτών καυσίμων για τη βιομηχανία καθώς και για την κίνηση των αυτοκινήτων αποτελεί την κύρια ανθρωπογενή πηγή εκροής του στην ατμόσφαιρα. Οι ηφαιστειακές εκροές και η αναπνοή των ζωντανών οργανισμών είναι φυσικές διαδικασίες που οδηγούν σε απελευθέρωση του αερίου στην ατμόσφαιρα. Επίσης σε αύξηση στην συγκέντρωσή του, οδηγεί η καταστροφή των δασών.

2.2 Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση και περιβάλλον

Η τηλεπισκόπηση ορίστηκε επισήμως από την Αμερικανική Εταιρεία Φωτογραμμετρίας και Τηλεπισκόπησης (ASPRS- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) ως εξής: “Η μέτρηση ή συλλογή πληροφοριών για κάποια ιδιότητα ενός αντικειμένου ή φαινομένου μέσω κάποιου οργάνου καταγραφής το οποίο δε βρίσκεται σε άμεση επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο ” (Colwell, 1983). Συνδυάζεται αρμονικά με άλλες επιστήμες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γεωεπιστήμες) που περιλαμβάνουν τη χαρτογραφία, την τοπογραφία και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS) (Jensen 2007).

Βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε αντικείμενο έχει τη δική του φασματική υπογραφή και μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που δέχεται το αντικείμενο ανακλάται. Ενώ το ανθρώπινο μάτι είναι ικανό να ευαισθητοποιείται στο τμήμα 350-700 nm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, άλλοι αισθητήρες έχουν τη δυνατότητα να λαμβάνουν πληροφορία σε μεγαλύτερο τμήμα του. Έτσι η ανακλώμενη ακτινοβολία λαμβάνεται από τους ενεργητικούς ή παθητικούς δέκτες και εξάγεται πληροφορία που αφορά το στόχο-αντικείμενο. Οι ενεργητικοί δέκτες είναι οι δέκτες που εκπέμπουν ακτινοβολία προς το στόχο για να μετρήσουν, ενώ οι παθητικοί χρησιμοποιούν την ηλιακή κυρίως ακτινοβολία.



Εικόνα 3: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, πηγή: cyberphysics.co.uk

Οι εφαρμογές της ψηφιακής τηλεπισκόπησης τα τελευταία χρόνια δίνουν τη δυνατότητα παρακολούθησης και αντιμετώπισης των ραγδαίων περιβαλλοντικών μεταβολών που συμβαίνουν. Ορισμένες σημαντικές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας των υδάτων, την παρακολούθηση ωκεανογραφικών δεδομένων, την παρακολούθηση αγροτικών περιοχών, τη μελέτη χρήσεων γης, τη χαρτογράφηση περιοχών, την καταγραφή μεταβολών (π.χ της ακτογραμμής ή μεταβολών λόγω πυρκαγιών), τη χαρτογράφηση πλημμυρών, την παρακολούθηση πυρκαγιών. Η δυνατότητα της διαχρονικής παρακολούθησης καθώς και της ενιαίας αντίληψης που προσφέρει για το περιβάλλον η ψηφιακή τηλεπισκόπηση, δίνει το πλεονέκτημα της παρακολούθησης των διαχρονικών αλλαγών και του καθορισμού των μελλοντικών δράσεων για την προστασία και διαχείριση του περιβάλλοντος, όπως επίσης και την αντιμετώπιση των περιβαλλοντικών κρίσεων.



Εικόνα 4: Εφαρμογές της τηλεπισκόπησης, πηγή: ISRO

Η τηλεπισκόπηση παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα αλλά και κάποιους περιορισμούς.

- + Η παθητική τηλεπισκόπηση δεν είναι παρεμβατική αφού ο δέκτης απλώς καταγράφει την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που ανακλά ή εκπέμπει το υπό εξέταση αντικείμενο ή φαινόμενο, έτσι δεν το επηρεάζει.
- + Επειδή τα όργανα τηλεπισκόπησης είναι συχνά προγραμματισμένα να συλλέγουν δεδομένα με συστηματικό τρόπο εξαλείφεται το δειγματοληπτικό σφάλμα.
- + Βασίζεται σε δεδομένα ιδίων πηγών και παρέχει δεδομένα σε άλλους επιστημονικούς κλάδους.
- + Είναι συχνά πιο οικονομικός τρόπος συλλογής δεδομένων.
- + Υπάρχει δυνατότητα συνεχών μετρήσεων και σύγκρισής τους.
- Υπάρχει το ενδεχόμενο ανθρώπινου λάθους κατά τον καθορισμό των διαφόρων παραμέτρων για τα όργανα και τις εργασίες τηλεπισκόπησης.
- Ισχυρά ενεργητικά συστήματα αισθητήρων τηλεπισκόπησης που εκπέμπουν τα ίδια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να αποδειχθούν παρεμβατικά και να επηρεάσουν το υπό εξέταση φαινόμενο.
- Στα όργανα τηλεπισκόπησης συχνά χάνεται η ακρίβεια της αρχικής βαθμονόμησης και το αποτέλεσμα είναι μη βαθμονομημένα δεδομένα τηλεπισκόπησης.

2.3 Αποστολή ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS)

Η αποστολή 'ECOSTRESS', είναι υπό τη διαχείριση του 'Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology' και του τμήματος επιστήμης της Γης της 'NASA'. Το πρόγραμμα τέθηκε σε λειτουργία στις 29 Ιουνίου 2018 και αφορά την παρακολούθηση

της θερμοκρασίας των φυτών, με στόχο την κατανόηση της ποσότητας του νερού που χρειάζονται. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός της αποστολής είναι να εξετάσει, πώς επηρεάζει η χερσαία βιόσφαιρα τις αλλαγές στη διαθεσιμότητα του νερού και πώς επηρεάζουν οι μεταβολές του ημερήσιου υδατικού στρες της βλάστησης, τον παγκόσμιο κύκλο του άνθρακα.

Οι μετρήσεις πραγματοποιούνται με το πειραματικό διαστημικό θερμικού ραδιόμετρο (ECOSystem Spaceborn Thermal Radiometer Experiment on Space Station) που βρίσκεται στο διεθνή διαστημικό σταθμό (ISS). Το ραδιόμετρο (PHyTIR) τοποθετήθηκε στην τοποθεσία 'Ιαπωνικής Μονάδας Πειράματος - Εξωτερική Εγκατάσταση 10', στην οποία η σάρωση του ραδιομέτρου είναι κάθετη προς την ταχύτητα του διαστημικού σταθμού. Παράγονται προϊόντα 4 επιπέδων. Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται τα διαθέσιμα προϊόντα με σύντομη περιγραφή τους.

Data Product	Description
ECO1BRAD.001	Radiometric Calibration
ECO1BATT.001	Attitude and Ephemeris
ECO1BMAPRAD.001	Radiometric Calibration
ECO1BGEO.001	Geometric Calibration
ECO2LSTE.001	Land Surface Temperature and Emissivity
ECO2CLD.001	Cloud mask
ECO3ETPTJPL.001	Evapotranspiration (PT-JPL model enhanced)
ECO3ANCQA.001	Ancillary Data Quality
ECO3ETALEXIU.001	Evapotranspiration (ALEXI model enhanced)
ECO4ESIPTJPL.001	Evaporative Stress Index derived from L3_ET_PT-JPL
ECO4ESIALEXIU.001	Evaporative Stress Index derived from L3_ET_ALEXI
ECO4WUE.001	Water Use Efficiency

Πίνακας 1: Προϊόντα 'ECOSTRESS'

Η αποστολή 'ECOSTRESS', δεν έχει ως στόχο την κάλυψη ολόκληρης της γης. Οι λήψεις καλύπτουν τις ΗΠΑ, καθώς και άλλες αγροτικές ζώνες στον κόσμο. Τα κόκκινα πολύγωνα (εικόνα 5) δείχνουν τις περιοχές υψηλής προτεραιότητας για απόκτηση δεδομένων.



Εικόνα 5: Περιοχές κάλυψης δεδομένων ECOSTRESS, πηγή: NASA

Τα προϊόντα 'ECOSTRESS' είναι διαθέσιμα δωρεάν στις ακόλουθες πλατφόρμες παροχής δεδομένων:

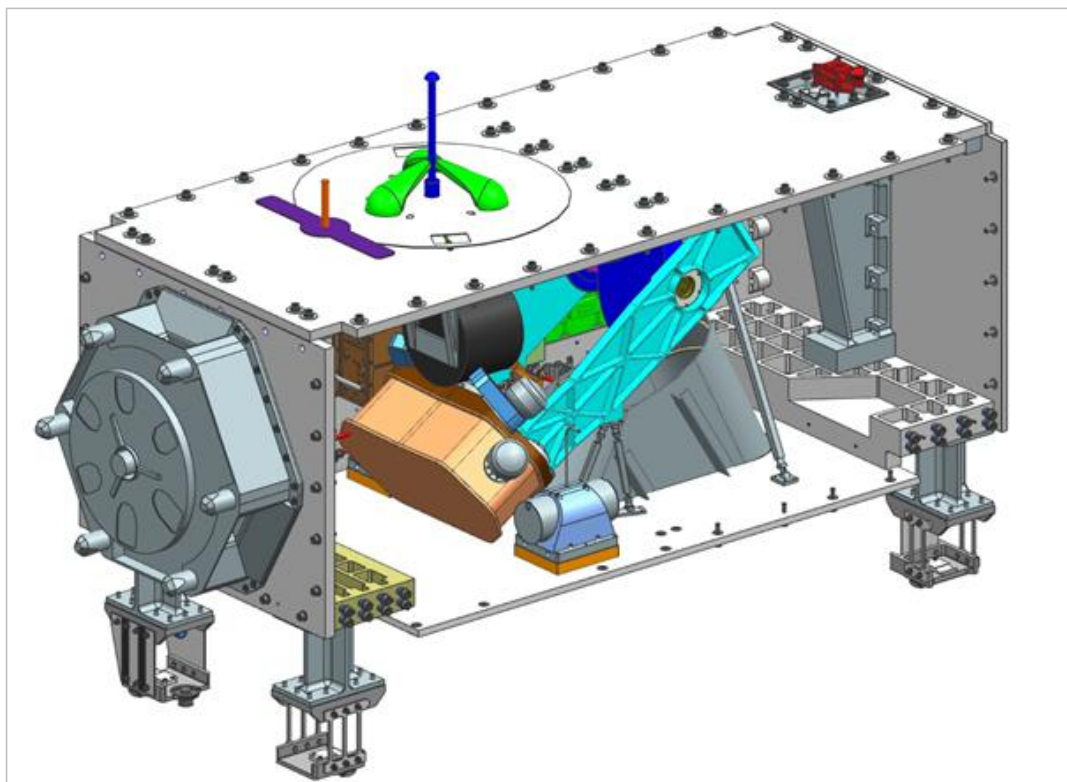
- NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC),
- Earthdata Search,
- LP DAAC subsetting tool - AppEEARS,
- USGS Earth Explorer.

2.3.1 Θερμικό υπέρυθρο ραδιόμετρο PHyTIR

Το Prototype HypsIRI θερμικό υπέρυθρο ραδιόμετρο (PHyTIR), που εξυπηρετεί την αποστολή, αναπτύχθηκε στα πλαίσια του προγράμματος 'Earth Science Technology Office (ESTO) Instrument Incubator Program (IIP)' με δεδομένα χωρικής ανάλυσης 69 μ. x 38 μ., και ευαισθησία θερμοκρασίας μικρότερη από 0.1 K. Τα φασματικά φίλτρα στο εστιακό επίπεδο, επιτρέπουν 5 φασματικά κανάλια στο διάστημα 8 μm έως 12.5 μm και 1 επιπλέον κανάλι στα 1.6 μm για γεωαναφορά και ανίχνευση νεφών. Οι εικόνες που παρέχει αποτελούν τις πιο λεπτομερείς εικόνες θερμοκρασίας που αποκτήθηκαν ποτέ από το διάστημα. Τα χαρακτηριστικά του ραδιομέτρου καταγράφονται στον πίνακα 2. Στις εικόνες 6 και 7 φαίνονται η μονάδα στον διαστημικό σταθμό που αφορά την αποστολή ECOSTRESS και το περιεχόμενο της μονάδας αντίστοιχα.



Εικόνα 6: Ιαπωνική μονάδα πειραμάτων στον διεθνή διαστημικό σταθμό, πηγή: NASA



Εικόνα 7: ECOSTRESS radiometer in container, πηγή: NASA

Description	Value	Unit	Notes
Number of spectral bands	6		
Measured band centers	Band 1 - 8.29, Band 2 - 8.78, Band 3 - 9.20, Band 4 - 10.49, Band 5 - 12.09	μm	
Measured FWHM per band	Band 1 - 0.354, Band 2 - 0.310, Band 3 - 0.396, Band 4 - 0.410, Band 5 - 0.611	μm	
Pixel size at nadir	69x38	m	2 pixels in cross track and 1 pixel in down track
Swath width	384	km	varies with ISS height, assumes height of 400 km
Nominal Radiometric accuracy at 300K	0.5	K	typical value varies with wavelength of band
Nominal Radiometric precision at 300K	0.15	K	typical value varies with wavelength of band
Radiometric precision at 300K per band	0.21,0.13,0.10,0.10,0.29	K	measured values (TVAC)
Number of blackbodies	2		One controlled between 16C to 24C, One controlled to 46C
Hot blackbody temperature	46	C	The scanning sequence is hot bb, cold bb, earth scene repeating
Cold blackbody temperature	20	C	The scanning sequence is hot bb, cold bb, earth scene repeating
Dynamic range	200-435	K	varies with spectral band, 12um band saturates at the highest temperature (excluding the SWIR)
Aperture size	200	mm	
F-number	2.1		
Detector readout rate	<10	MHz	per channel, 32 total channels
Scan speed	25.4	rpm	
Scan angle	+/- 25	degrees	
Detector Array size	10.24	mm ²	Sparse array
Downlink rate	4.5	Mbps	Transmission rate is fixed at 10 Mbps (firmware limitation)
Scene size	44	swaths	9.8km x 384km =3D 1 swath
Number of scenes	16		assuming one per orbit
Focal plane temperature	65	K	
Housing temperature	120	K	
Number of cryocoolers	3		Pulse tube, < 500W
IFOV	96	μrads	

Πίνακας 2: χαρακτηριστικά ραδιομέτρου PHyTIR, πηγή: ecostress.jpl.nasa.gov

2.3.2 Προϊόντα ECO1BRAD

Τα ‘ECO1BRAD’ προϊόντα, είναι δεδομένα ‘ECOSTRESS’ επιπέδου 1. Σε διαφορετικά επίπεδα (layers) περιέχονται βαθμονομημένες τιμές ακτινοβολίας σε πέντε ζώνες του

θερμικού υπέρυθρου φάσματος (TIR) από 8 μm έως 12.5 μm , ψηφιακές τιμές της φασματικής ζώνης του SWIR, δείκτες ποιότητας των δεδομένων κάθε καναλιού και κάποιες επιπλέον πληροφορίες. Τα ‘ECO1BRAD’ προϊόντα, δεν παρέχουν πληροφορία γεωαναφοράς, γι’ αυτό απαιτούνται τα προϊόντα ‘ECO1BGEO’ ώστε να πραγματοποιείται η γεωαναφορά τους. Τα δεδομένα που παρέχονται από τις 15 Μαΐου 2019 και έπειτα, δεν περιλαμβάνουν την φασματική πληροφορία στα 8.285 μm και 9.060 μm , ούτε τις ψηφιακές τιμές της ζώνης του SWIR, για να επιτυγχάνεται άμεση ροή δεδομένων από τον διαστημικό σταθμό. Στους πίνακες 3 και 4 παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της φασματικής πληροφορίας των προϊόντων και άλλα χαρακτηριστικά της συλλογής. Η εικόνα 8 απεικονίζει το μέγεθος στην επιφάνεια της γης που καλύπτει μια σκηνή ‘ECO1BRAD’.

Spectral Band	Measured band centers	Pixel size at nadir	Units	Data type
radiance_1	TIR 8.285 microns	69x38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_2	TIR 8.785 microns	69x38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_3	TIR 9.060 microns	69x38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_4	TIR 10.522 microns	69x38 m	W/m ² /sr/ μm	32- bit floating point
radiance_5	TIR 12.001 microns	69x38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point

Πίνακας 3: Φασματικά στοιχεία προϊόντων ‘ECO1BRAD’

Collection	ECOSTRESS
File size	800MB
Temporal Extent	2018-07-09 to Present
File Format	HDF5
Geographic Dimensions	400 km x 400 km

Πίνακας 4: Χαρακτηριστικά συλλογής προϊόντων ‘ECO1BRAD’



Εικόνα 8: Χωρικό αποτύπωμα των προϊόντων ‘ECO1BGEO’

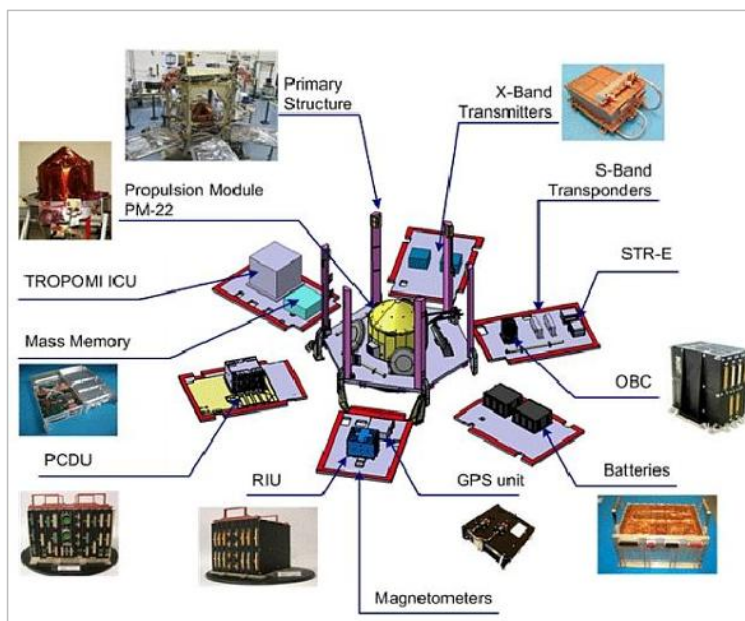
2.4 Δορυφορική αποστολή Sentinel-5 Precursor

Η δορυφορική αποστολή ‘Sentinel-5 Precursor’ είναι η πρώτη αποστολή του προγράμματος ‘Copernicus’ που αφορά την παρακολούθηση της ατμόσφαιρας και βρίσκεται υπό την αιγίδα της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Υπηρεσίας. Ο δορυφόρος εκτοξεύτηκε στις 13 Οκτωβρίου 2017 και καλύπτει ολόκληρο τον πλανήτη καθημερινά.

Σκοπός του δορυφόρου Sentinel-5P είναι η παρακολούθηση της ατμόσφαιρας μέχρι να τεθούν σε τροχιά οι δορυφόροι Sentinel-4 και Sentinel-5. Ο δορυφόρος μέσω του τροποσφαιρικού οργάνου παρακολούθησης (TROPOMI), χαρτογραφεί ίχνη αερίων όπως διοξείδιο του αζώτου, όζον, φορμαλδεΐδη, διοξείδιο του θείου, μεθάνιο, μονοξείδιο του άνθρακα και αερολύματα. Στον πίνακα 5 καταγράφονται τα κύρια χαρακτηριστικά της δορυφορικής πλατφόρμας.

bus	AstroBus L 250 M from Airbus Defence & Space
attitude control	three-axis stabilised with optional yaw steering
launch mass	820 kg. (including 82 kg fuel and TROPOMI instrument 220 kg)
power	1 500 W (EOL), 430 W average power consumption
battery capacity	156 Ah
data storage capacity	(redundant) mass memory capacity of 480 Gbits for storage of ‘science’ telemetry. The storage capacity shall ensure a loss-free downlink of TROPOMI observational data based on a single X-band station pass per orbit.

Πίνακας 5: Χαρακτηριστικά της δορυφορικής πλατφόρμας S5-P, πηγή: ESA



Εικόνα 9: Στοιχεία πλατφόρμας Sentinel-5, πηγή: ESA

2.4.1 Δορυφορικός ατμοσφαιρικός αισθητήρας TROPOMI

Ο αισθητήρας TROPOMI είναι το παθητικό φασματόμετρο απεικόνισης, που βρίσκεται στην δορυφορική πλατφόρμα Sentinel-5P. Καλύπτει τις φασματικές ζώνες μεταξύ υπεριώδους και μικροκυματικής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Τα κύρια χαρακτηριστικά του αισθητήρα φαίνονται στον πίνακα 6.

Type	passive grating imaging spectrometer
Configuration	Push broom staring in nadir viewing
Swath width	2,600 km
Spatial sampling	7x7 km ²
Spectral	2 in UV, 2 in VIS, 2 in NIR, 2 in SWIR
Overall mass	204.3 kg not including ICU (16.7 kg) that is integrated on the platform, separated from the instrument
Design lifetime	7 years
Generated data volume	139 Gbits per full orbit

Πίνακας 6: Χαρακτηριστικά δορυφορικού αισθητήρα TROPOMI

Τα προϊόντα από τον αισθητήρα TROPOMI, είναι 2 επιπέδων. Το πρώτο επίπεδο αφορά τιμές ακτινοβολίας ενώ το δεύτερο επίπεδο αφορά παράγωγα προϊόντα που αφορούν την ποιότητα της ατμόσφαιρας.

2.4.2 Προϊόντα Sentinel-5 Precursor

Το πρώτο επίπεδο αφορά προϊόντα ακτινοβολίας. Το εύρος ακτινοβολίας που καλύπτει ο δορυφόρος είναι από 270 nm έως 775 nm και από 2305nm έως 2385nm. Πιο συγκεκριμένα, ο διαχωρισμός των καναλιών φαίνεται στο πίνακα 7.

Spectral Band	Spectral range (nm)	Pixel size at near nadir (km²)	Specrometer
radiance_1	270 - 300	7 x 28	UV
radiance_2	300 - 320	7 x 3.5	UV
radiance_3	320 - 405	7 x 3.5	UVIS
radiance_5	675 - 725	7 x 3.5	NIR
radiance_6	725 - 775	7 x 3.5	NIR
radiance_7	2305 - 2345	7 x 7	SWIR
radiance_8	2345 - 2385	7 x 7	SWIR

Πίνακας 7: Φασματικά κανάλια Sentinel-5P

Το δεύτερο επίπεδο προϊόντων αφορά τα γεωφυσικά παράγωγα προϊόντα, που προκύπτουν από τα δεδομένα πρώτου επιπέδου και την χρήση αλγορίθμων. Ο κατάλογος των προϊόντων δευτέρου επιπέδου φαίνεται στον πίνακα 8.

Product type	Parameter
L2__O3__	Ozone (O ₃) total column
L2__O3_TCL	Ozone (O ₃) tropospheric column
L2__O3_PR	Ozone (O ₃) profile
L2__O3_TPR	Ozone (O ₃) tropospheric profile
L2__NO2__	Nitrogen Dioxide (NO ₂), total and tropospheric columns
L2__SO2__	Sulfur Dioxide (SO ₂) total column
L2__CO__	Carbon Monoxide (CO) total column
L2__CH4__	Methane (CH ₄) total column
L2__HCHO__	Formaldehyde (HCHO) total column
L2__CLOUD_	Cloud fraction, albedo, top pressure
L2__AER_AI	UV Aerosol Index
L2__AER_LH	Aerosol Layer Height (mid-level pressure)

Πίνακας 8: Προϊόντα Sentinel-5P, επιπέδου 2

Η ανάκτηση των προϊόντων δευτέρου επιπέδου HCHO Vertical Column, SO₂ Vertical Column, NO₂ Vertical Columns, O₃ Vertical Profiles, O₃ Total Vertical Column, O₃ Tropospheric Vertical Column, Aerosol index, Aerosol Layer Height και Cloud Parameters, βασίζεται στα δεδομένα του φασματικού διαστήματος 270nm έως 775nm. Ενώ τα προϊόντα CH₄ Vertical Column και CO Vertical Column παράγονται από δεδομένα ακτινοβολίας που ανήκουν στο φασματικό διάστημα της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας (2305 nm - 2385 nm).

Τα προϊόντα δευτέρου επιπέδου του Sentinel-5P, διαθέτουν τρεις εκδόσεις. Η πρώτη έκδοση είναι η 'Near Real-Time' (NRTI), όπου τα δεδομένα είναι διαθέσιμα εντός τριών ωρών από την απόκτησή τους. Αυτή η έκδοση καλύπτει μικρότερες περιοχές. Η δεύτερη έκδοση είναι η 'Offline' (OFFL), η οποία καλύπτει μεγαλύτερη περιοχή και είναι διαθέσιμη λίγες μέρες μετά τη λήψη των δεδομένων. Τέλος υπάρχει και η 'Reprocessing' (RPRO) έκδοση όπου τα δεδομένα είναι επανεπεξεργασμένα.

2.5 Ανάλυση παλινδρόμησης

Με την ανάλυση παλινδρόμησης (regression analysis) εξετάζεται η σχέση μεταξύ δύο ή περισσότερων μεταβλητών ώστε να προβλέπονται οι τιμές της μίας μέσω της τιμής ή των τιμών των άλλων. Υπάρχουν δύο είδη μεταβλητών, οι ανεξάρτητες και οι εξαρτημένες. Αν έχουμε δύο μεταβλητές, τη μεταβλητή x και τη μεταβλητή y και σαν ανεξάρτητη μεταβλητή ορίσουμε τη μεταβλητή x και σαν εξαρτημένη τη μεταβλητή y και συνδέονται μέσω της σχέσης $y = f(x)$, τότε μέσω της τιμής x μπορούμε να προβλέψουμε ακριβώς την τιμή y στην περίπτωση που δεν υπάρχει κάποιο σφάλμα.

2.5.1 Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση

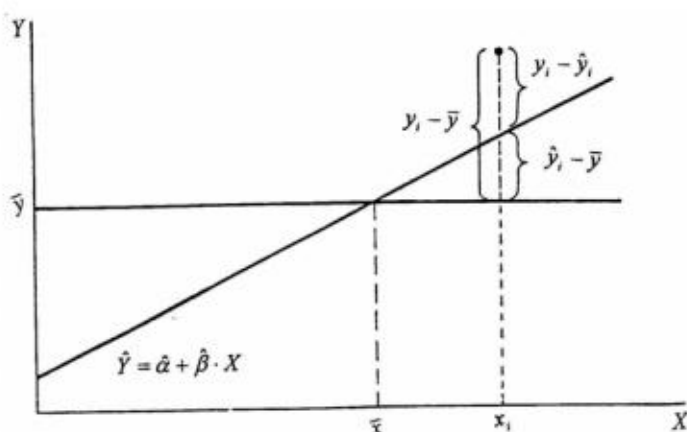
Η απλούστερη μορφή παλινδρόμησης είναι η Απλή Γραμμική Παλινδρόμηση όπου υπάρχει μόνο μια ανεξάρτητη μεταβλητή x και η εξαρτημένη μεταβλητή y μπορεί να προσεγγισθεί ικανοποιητικά από μια γραμμική συνάρτηση του x ($y = a \cdot x + b$, όπου a , b σταθερές).

Για την περιγραφή της εξάρτησης των δύο μεταβλητών εφαρμόζεται η μέθοδος των ελαχίστων τετραγώνων η οποία προσαρμόζει την καμπύλη στα δοσμένα στοιχεία, ώστε το άθροισμα των τετραγώνων των υπολοίπων να είναι το ελάχιστο δυνατό.

$$\sum \varepsilon_i^2 = \sum (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \min$$

$i = 1, 2, \dots, n$, $Y_i - \hat{Y}_i$ = η διαφορά της παρατηρούμενης από την εκτιμώμενη τιμή

Για να ελεγχθεί το πόσο καλή είναι η συσχέτιση, προσδιορίζεται ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ο οποίος λαμβάνει τιμές στο κλειστό διάστημα $[0, 1]$ ή $[0-100\%]$. Όταν όλα τα σημεία βρίσκονται πάνω στην ευθεία ελαχίστων τετραγώνων λαμβάνει τη τιμή 1 όσο απομακρύνονται τα σημεία από την ευθεία, η τιμή μειώνεται. Όσο πλησιέστερα βρίσκεται η τιμή στο 1 (100%) τόσο καλύτερη είναι η εκτίμηση.



$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum (y_i - \bar{y})^2}$$

Επίσης για τον έλεγχο της στατιστικής σημαντικότητας των αποτελεσμάτων χρησιμοποιείται η μεταβλητή p-value η οποία δείχνει αν το αποτέλεσμα (σχέση) σε ένα δείγμα εμφανίστηκε τυχαία ή αν πράγματι υπάρχει κάποια σχέση. Σε πολλούς τομείς της έρευνας η p-value του 0,05 είναι συνήθως η διαχωριστική γραμμή ως αποδεκτό "επίπεδο λάθους". Δηλαδή δεχόμαστε να υπάρχει πιθανότητα 5% η σχέση μεταξύ των μεταβλητών που βρίσκονται στο δείγμα να είναι ψευδής.

2.5.2 Μη Γραμμική Παλινδρόμηση

Πιο σύνθετη μορφή παλινδρόμησης είναι η μη γραμμική παλινδρόμηση. Είναι τύπος ανάλυσης παλινδρόμησης, στον οποίο τα δεδομένα παρατήρησης μοντελοποιούνται με μια συνάρτηση η οποία είναι μη γραμμικός συνδυασμός των παραμέτρων του μοντέλου και εξαρτάται από μια ή περισσότερες ανεξάρτητες μεταβλητές. Παραδείγματα μη γραμμικών συναρτήσεων είναι οι εκθετικές, οι λογαριθμικές και οι τριγωνομετρικές συναρτήσεις, οι συναρτήσεις δύναμης, Gauss και Fourier.

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκαν εκτός από την τεχνική της γραμμικής παλινδρόμησης, η εκθετική και η λογαριθμική παλινδρόμηση. Οι εξισώσεις των μοντέλων έχουν ως εξής:

- Λογαριθμική παλινδρόμηση: $y = a \cdot \ln(b \cdot x) + c$
- Εκθετική παλινδρόμηση: $y = a \cdot e^{bx}$

3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Τις τελευταίες δεκαετίες, η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται ευρέως σε διάφορες εφαρμογές πρόβλεψης και παρακολούθησης φαινομένων όπως για παράδειγμα τα καιρικά φαινόμενα. Πιο πρόσφατα, δορυφορικές παρατηρήσεις και μέθοδοι στοχεύουν στην παρακολούθηση της ποιότητας της ατμόσφαιρας, ώστε να παρέχονται παρατηρήσεις και προβλέψεις για ολόκληρο τον πλανήτη. Στις παραγράφους που ακολουθούν, καταγράφονται ορισμένες ερευνητικές εργασίες που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με την ανάκτηση της συγκέντρωσης ρυπογόνων αερίων, με μεθόδους τηλεπισκόπησης.

Οι Haili Hu et al. (2016), παρουσίασαν τον αλγόριθμο που χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση μεθανίου από το δορυφόρο Sentinel-5P. Ο αλγόριθμος βασίστηκε στον αλγόριθμο RemoTeC, ο οποίος δημιουργήθηκε αρχικά για ανάκτηση διοξειδίου του άνθρακα και μεθανίου από παρατηρήσεις των OCO και GOSAT. Σε αυτή την περίπτωση, ο αλγόριθμος είχε στόχο το συμπέρασμα ενός σταθερού διανύσματος με ατμοσφαιρικά στοιχεία από παρατηρήσεις στο μικροκυματικό και εγγύς υπέρυθρο φάσμα του δορυφορικού αισθητήρα TROPOMI. Επίσης, λάμβανε υπόψη την ευαισθησία στις ιδιότητες σκέδασης, στα ατμοσφαιρικά δεδομένα και στα σφάλματα των οργάνων και εξέταζε την εφαρμογή φίλτρων σχετικά με τη νεφοκάλυψη. Το φασματικό εύρος των καναλιών του TROPOMI στο διάστημα της εγγύς υπέρυθρης και μικροκυματικής ακτινοβολίας του (NIR και SWIR), δεν επέτρεπε την 'proxy' προσέγγιση των Frankenberg et al. (2005), έτσι η επίδραση των αερολυμάτων έπρεπε να υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την μέθοδο που βασίζεται στη φυσική 'physics-based method', η οποία αναλύθηκε από τους Connor et al. (2008), Butz et al. (2009), Reuter et al. (2010), O' Dell et al. (2012). Η απαιτούμενη ακρίβεια μπορούσε να επιτευχθεί για μετρήσεις σε καθαρό ουρανό ή μετά από εφαρμογή φίλτρων νεφοκάλυψης και εάν τα σφάλματα στα δεδομένα εισόδου για πίεση και θερμοκρασία παρέμεναν κάτω από 0.3% και 2°K αντίστοιχα.

Επίσης, οι Haili Hu et al. (2018), παρουσίασαν τις πρώτες παρατηρήσεις μεθανίου από τον αισθητήρα TROPOMI του δορυφόρου Sentinel-5P και τις σύγκριναν με τις αντίστοιχες παρατηρήσεις μεθανίου του 'Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT)'. Περίοδος αναφοράς της μελέτης τους, ορίστηκε το χρονικό διάστημα από 12 Νοεμβρίου έως 30 Δεκεμβρίου 2017. Οι μετρήσεις του TROPOMI περιορίστηκαν γύρω στα 2.3 μm , δηλαδή στο φάσμα της μικροκυματικής υπέρυθρης ακτινοβολίας (SWIR). Οι Haili Hu et al., αναφέρθηκαν στο πλεονέκτημα της χωρικής ανάλυσης του αισθητήρα TROPOMI (7km x 7km) έναντι των μετρήσεων του GOSAT (10 km διάμετρος), καθώς και στις 2 διαφορετικές μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάκτηση του μεθανίου. Το αποτέλεσμα της σύγκρισης των δύο συνόλων δεδομένων έδειξε εξαιρετική συμφωνία. Συγκεκριμένα, η μέση διαφορά που παρατηρήθηκε είναι 13.6 ppb με τυπική απόκλιση 19.6 ppb και συντελεστή συσχέτισης Pearson 0.95. Γενικά προέκυψε μεγαλύτερη συγκέντρωση μεθανίου από τα δεδομένα TROPOMI, αλλά στις τροπικές περιοχές οι μετρήσεις TROPOMI οδήγησαν σε χαμηλότερη συγκέντρωση έναντι αυτών του GOSAT.

Οι N. Saitoh et al. (2018) σύγκριναν τις παρατηρήσεις μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα που ανακτήθηκαν από το θερμικό υπέρυθρο κανάλι (5.5 μm - 14.3 μm) του αισθητήρα 'Thermal and Near Infrared Sensor for Carbon Observation (TANSO) - Fourier Transform Spectrometer (FTS)' του δορυφόρου GOSAT, με παρατηρήσεις των αερίων από αεροσκάφη. Τα δεδομένα ελέγχου που αφορούν το διοξείδιο του άνθρακα αποκτήθηκαν από το πρόγραμμα του ολοκληρωμένου δικτύου παρατήρησης για ίχνη αερίων από αεροπλάνα (CONTRAIL). Τα δεδομένα μεθανίου προέρχονται από μετρήσεις αεροσκάφους C-130H της Ιαπωνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας (JMA) για το πρόγραμμα WMO/GAW και από αεροσκάφη της καμπάνιας HIPPO. Η σύγκριση που αφορά το διοξείδιο του άνθρακα στο επίπεδο της ανώτερης τροπόσφαιρας και χαμηλότερης στρατόσφαιρας (UTLS), έδειξε ότι οι δορυφορικές μετρήσεις διαφέρουν από τις μετρήσεις CONTRAIL κατά μέσο όρο 0.5% και 0.1%, στο βόρειο και νότιο ημισφαίριο αντίστοιχα. Επίσης παρατηρήθηκαν διαφορές ανάμεσα στις χειμερινές και θερινές περιόδους. Σχετικά με το μεθάνιο, φάνηκε ότι τα θερμικά δεδομένα συμφώνησαν με τα δεδομένα του αεροσκάφους της Ιαπωνικής μετεωρολογικής υπηρεσίας περίπου στο 1% στα επίπεδα της μέσης και χαμηλής τροπόσφαιρας στα βόρεια μέσα γεωγραφικά πλάτη την άνοιξη, το φθινόπωρο και τον χειμώνα ενώ παρατηρήθηκε αρνητική μεροληψία της τάξης του 1.2% - 1.5% στη μέση τροπόσφαιρα το καλοκαίρι. Σύμφωνα με τους ερευνητές, οι παρατηρήσεις από τον GOSAT-2/ TANSO-FTS-2 αναμένονται βελτιωμένες λόγω του δεύτερου θερμικού καναλιού που θα διαθέτει.

M. Buchwitz et al. (2016), παρουσίασαν το πακέτο δεδομένων Climate Research Data Package No.3 (CRDP3) που αφορούσε τα αέρια του θερμοκηπίου (GHG-CCI) και κυρίως το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Τα δεδομένα αποκτήθηκαν από τους δορυφόρους ENVISAT και GOSAT και τους αισθητήρες τους SCHIAMACHY και TANSO αντίστοιχα. Η περίοδος μελέτης αφορούσε τα έτη 2002 έως 2014. Στην μελέτη τους παρουσίασαν παγκόσμιους χάρτες και χρονοσειρές με δεδομένα ελέγχου από το επίγειο δίκτυο παρακολούθησης 'Total Carbon Column Observing Network (TCCON)'. Οι δορυφορικές παρατηρήσεις αφορούσαν τη φασματική περιοχή της εγγύς υπέρυθρης ακτινοβολίας και της μικροκυματικής υπέρυθρης ακτινοβολίας. Οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιήθηκαν βασίστηκαν στη μοντελοποίηση του προφίλ της ατμόσφαιρας, τη θερμοκρασία, τα αερολύματα, το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα. Για τις μετρήσεις από το δορυφόρο GOSAT, υπήρξαν δύο τύποι αλγορίθμων που χρησιμοποιήθηκαν. Οι 'proxy' (PR) αλγόριθμοι και οι 'full-physics' (FP). Το πλεονέκτημα των PR αλγορίθμων ήταν ότι εξαλείφουν τα σφάλματα που οφείλονταν στην ατμόσφαιρα, στα σύννεφα και σε κάποια όργανα με τη χρήση του λόγου $[\text{CH}_4]/[\text{CO}_2]$. Το μειονέκτημα της μεθόδου PR ήταν ότι απαιτεί εκ των προτέρων γνώση της συγκέντρωση CO_2 από μοντέλα. Το μειονέκτημα των FP αλγορίθμων ήτανη πολυπλοκότητά τους. Οι απαιτήσεις συστηματικών σφαλμάτων του 'Παγκόσμιου Συστήματος Παρατήρησης Κλίματος (GCOS)', πληρώθηκαν για όλα τα προϊόντα, με εξαίρεση τα προϊόντα μεθανίου από τον δορυφόρο ENVISAT από το 2010. Γενικά για το διοξείδιο του άνθρακα, παρατηρήθηκε εύλογη συνοχή και συμφωνία μεταξύ όλων των συνόλων δεδομένων της τάξης των 1 ppm έως 2 ppm, αλλά παρατηρήθηκαν και σημαντικές διαφορές που εξαρτώνται από την περιοχή ή την χρονική περίοδο.

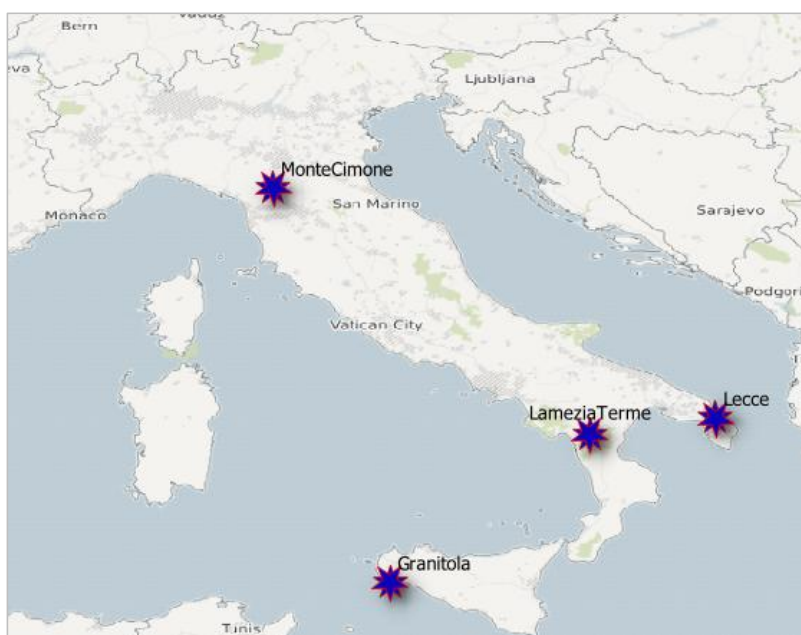
4 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στην εργασία, η οποία αποτελείται από δύο τμήματα. Στο πρώτο τμήμα εξετάστηκαν οι συσχετίσεις που παρουσιάστηκαν ανάμεσα στα δεδομένα ελέγχου μεθανίου, μονοξειδίου του άνθρακα και διοξειδίου του άνθρακα, και στα θερμικά δεδομένα από τις πειραματικές εικόνες πρώτου επιπέδου (ECO1BRAD) του παγκόσμιου διαστημικού σταθμού (ISS). Στο δεύτερο τμήμα, έγινε αξιολόγηση των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-5P με χρήση των δεδομένων αναφοράς από τους επίγειους σταθμούς μέτρησης. Ακολούθως περιγράφεται η διαδικασία ανάκτησης των δεδομένων καθώς και η τεχνική ανάλυσής τους.

Η ανάλυση των δεδομένων έγινε με χρήση τεχνικών παλινδρόμησης. Χρησιμοποιήθηκαν η απλή γραμμική συνάρτηση $y = a \cdot x + b$, η λογαριθμική συνάρτηση $y = a \cdot \ln(b \cdot x) + c$ και η εκθετική συνάρτηση $y = a \cdot e^{b \cdot x}$. Για την πραγματοποίηση του ελέγχου συσχετίσεων χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα 'regression2' στην γλώσσα προγραμματισμού 'Python3'.

4.1 Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης ορίστηκαν 4 επίγειοι σταθμοί μέτρησης ατμοσφαιρικών παραμέτρων στην Ιταλία. Η επιλογή των περιοχών μελέτης έγινε λόγω της διαθεσιμότητας των δεδομένων. Για τον έλεγχο της σχέσης των δεδομένων αναφοράς με τα θερμικά δεδομένα αξιοποιήθηκαν και οι τέσσερις σταθμοί, ενώ για την αξιολόγηση των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-5P, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα από τους σταθμούς Monte Cimone και Capo Granitola. Στον χάρτη 1 φαίνεται η θέση των επίγειων σταθμών μέτρησης.



Χάρτης 1: Θέση επίγειων σταθμών μέτρησης ατμοσφαιρικών παραμέτρων

4.2 Δεδομένα ελέγχου

Τα δεδομένα ελέγχου απετέλεσαν οι συγκεντρώσεις μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα που προέκυψαν από τους 4 επίγειους σταθμούς σε 4 θέσεις στην Ιταλία. Τα χαρακτηριστικά των σταθμών φαίνονται στον πίνακα 9.

Station	Position (lat,lon)	High (m)	Contributor	Corine Land Cover
Monte Cimone	44.1936 N, 10.6999 E	2165	Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC)	Natural grasslands
Lecce	40.3356 N, 18.1244 E	37	Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC)	Industrial or Commercial Units/ Urban
Capo Granitola	37.6667 N, 12.6500 E	5	Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC)	Discontinuous urban fabric
Lamezia Terme	40.05 N, 16.0167 E	50	Institute of Atmospheric Sciences and Climate (CNR-ISAC)	Broad-leaved forest

Πίνακας 9: Χαρακτηριστικά επίγειων σταθμών μέτρησης

Τα χρονικά διαστήματα που μελετήθηκαν προσδιορίστηκαν βάση των διαθέσιμων δεδομένων αναφοράς και των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Η περίοδος μελέτης για το πρώτο τμήμα της εργασίας αφορούσε 3 διαστήματα, από 31 Ιουλίου 2018 έως 28 Σεπτεμβρίου 2018, από 10 Ιανουαρίου 2019 έως 13 Μαρτίου 2019 και από 15 Μαΐου 2019 έως 15 Ιουνίου 2019. Για το δεύτερο τμήμα της εργασίας, αξιοποιήθηκαν ως δεδομένα ελέγχου τα δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα από τους σταθμούς Monte Cimone και Capo Granitola για το χρονικό διάστημα 22 Νοεμβρίου 2018 έως 26 Ιουνίου 2019 για τον πρώτο σταθμό και 22 Νοεμβρίου 2018 έως 30 Δεκεμβρίου 2018 για τον δεύτερο σταθμό.

Το πλήθος των επίγειων δεδομένων ήταν μεγάλο επειδή τα δεδομένα που προκύπτουν από τους σταθμούς είναι ωριαία. Για τους σκοπούς της εργασίας έγινε επιλογή των δεδομένων ώστε να αντιστοιχούν στην ώρα λήψης των εικόνων. Στις περιπτώσεις που η ώρα λήψης της εικόνας δεν ήταν ακριβώς, πραγματοποιήθηκε γραμμική παρεμβολή ώστε να προσδιοριστεί η συγκέντρωση των ουσιών τη στιγμή λήψης της εικόνας. Στους πίνακες 10 και 11 καταγράφεται το πλήθος των δεδομένων ελέγχου που ήταν διαθέσιμα τις στιγμές λήψης των θερμικών εικόνων και των εικόνων του δορυφόρου Sentinel-5P αντίστοιχα.

Ουσία	Πλήθος δεδομένων αναφοράς
Μεθάνιο (CH_4)	98
Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	98
Διοξείδιο του άνθρακα (CO_2)	97

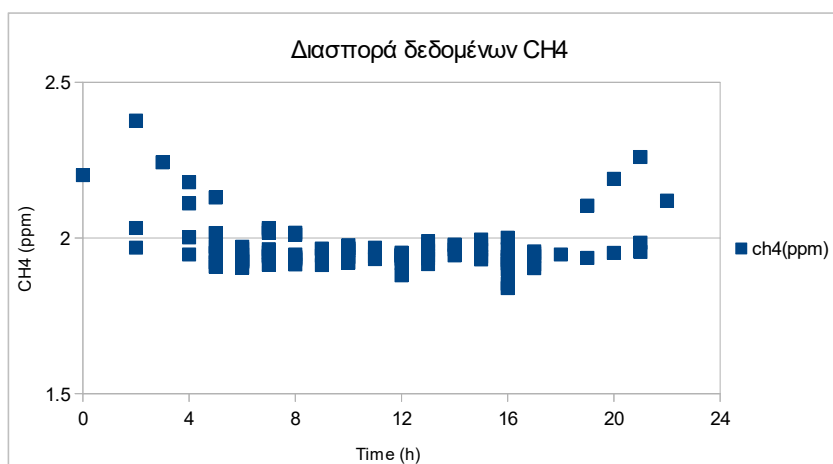
Πίνακας 10: Πλήθος δεδομένων αναφοράς για τη σύγκριση με δεδομένα θερμικών εικόνων

Σταθμός	Πλήθος δεδομένων αναφοράς	Περίοδος αναφοράς
Monte Cimone	124	22/11/2018 έως 26/06/2019
Capo Granitola	31	22/11/2018 έως 30/12/2018

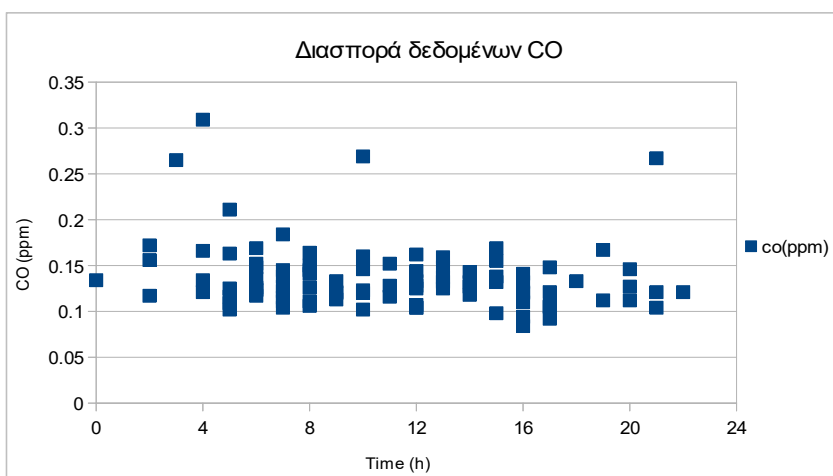
Πίνακας 11: Πλήθος δεδομένων αναφοράς ανά σταθμό για τη σύγκριση με δεδομένα Sentinel-5P

Οι σταθμοί παρακολούθησης ανήκουν στο Ινστιτούτο Ατμοσφαιρικών Επιστημών και Κλίματος (Institute of Atmospheric Sciences and Climate - ISAC του National Research Council της Ιταλίας (CNR). Για τους σταθμούς Monte Cimone (2018-2019), Capo Granitola (2018) και Lecce (2018), τα δεδομένα παραχωρήθηκαν σε αρχεία 'csv' από τους υπεύθυνους των σταθμών για τους σκοπούς της μελέτης. Τα δεδομένα για τους σταθμούς Lamezia Terme (2018-2019) και Capo Granitola (2019), αντλήθηκαν από τη διαδικτυακή πλατφόρμα I-AMICA (<http://sharegeonetwork.i-amica.it/>). Η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα αιτήματος βάση της ουσίας, του σταθμού και του χρονικού διαστήματος που μας ενδιαφέρει και η απάντηση στο αίτημα έρχεται μετά από κάποια δευτερόλεπτα σε μορφή γραφήματος. Στην συνέχεια διαβάζοντας το κάθε διάγραμμα, έγινε καταγραφή των δεδομένων σε πίνακες ώστε να μπορεί να γίνει η περαιτέρω επεξεργασία τους.

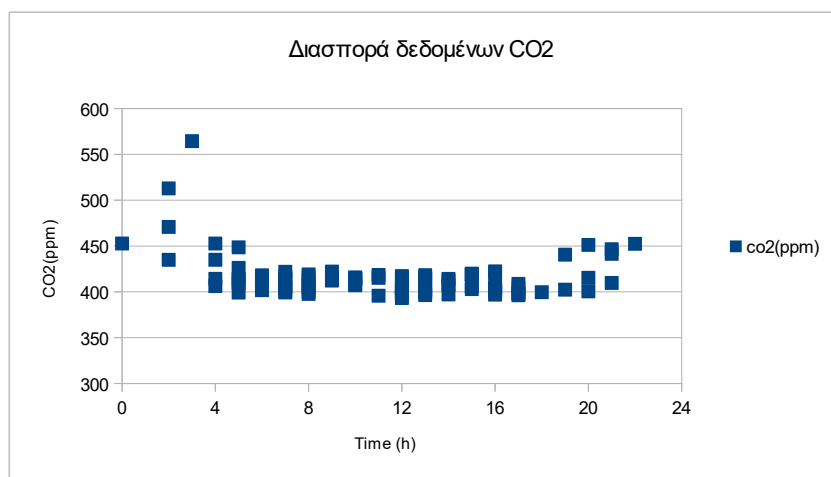
Στα διαγράμματα 3 έως 5 παρουσιάζεται η διασπορά της τιμής της συγκέντρωσης των αερίων σε σχέση με την ώρα που παρουσιάστηκε η τιμή. Τα διαγράμματα αφορούν το σύνολο των δεδομένων μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα αντίστοιχα.



Διάγραμμα 3: Διασπορά δεδομένων μεθανίου



Διάγραμμα 4: Διασπορά δεδομένων μονοξειδίου του άνθρακα



Διάγραμμα 5: Διασπορά δεδομένων διοξειδίου του άνθρακα

4.3 Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα και δείκτες συσχέτισης

4.3.1 Συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων

Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από την πειραματική αποστολή 'ECOSystem Spaceborne Thermal Radiometer Experiment on Space Station (ECOSTRESS)' της 'NASA'. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα πρώτου επιπέδου 'ECO1BRAD' και 'ECO1BGEO'.

Τα 'ECO1BRAD' δεδομένα παρέχουν βαθμονομημένες τιμές ακτινοβολίας σε πέντε ζώνες του θερμικού υπέρυθρου φάσματος (TIR) από 8 μm έως 12.5 μm . Τα 'ECO1BGEO' δεδομένα περιέχουν την πληροφορία της γεωαναφοράς, γι' αυτό οι δύο τύποι δεδομένων συνενώθηκαν ώστε να παραχθούν γεωαναφερμένες εικόνες σε μορφή GeoTIFF και να μπορέσουν να αξιοποιηθούν. Τα χαρακτηριστικά των δεδομένων παρουσιάζονται στους πίνακες 12 και 13. Για την εξαγωγή των δεδομένων σε αρχεία μορφής GeoTIFF χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας 'ECOSTRESS Swath to Grid Conversion Script' του Cole Krehbiel στην γλώσσα προγραμματισμού 'Python3', ο οποίος διατίθεται από τους υπεύθυνους του προγράμματος για τον σκοπό αυτό. Τα παράγωγα από αυτή την διαδικασία ήταν δύο αρχεία GeoTIFF για κάθε κανάλι, το ένα περιείχε τις τιμές ακτινοβολίας ενώ το άλλο αναφερόταν στην ποιότητα των δεδομένων. Για τους σκοπούς της εργασίας αξιοποιήθηκαν τα αρχεία που περιείχαν την πληροφορία ακτινοβολίας.

Spectral Band	Measured band centers	Pixel size at nadir	Units	Data type
radiance_1	TIR 8.285 microns	69 m x 38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_2	TIR 8.785 microns	69 m x 38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_3	TIR 9.060 microns	69 m x 38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_4	TIR 10.522 microns	69 m x 38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point
radiance_5	TIR 12.001 microns	69 m x 38 m	W/m ² /sr/ μm	32-bit floating point

Πίνακας 12: Χαρακτηριστικά δεδομένων ECO1BRAD

	File Format	Size (KB)
ECO1BRAD	HDF5	802.911
ECO1BGEO	HDF5	1.188.075

Πίνακας 13: Χαρακτηριστικά αρχείων 'ECOSTRESS'

Επειδή η αποστολή αυτή είναι πειραματική δεν υπάρχουν συνεχόμενα δεδομένα, γι' αυτό η περίοδος μελέτης αφορούσε 3 διαστήματα, από 31 Ιουλίου 2018 έως 28 Σεπτεμβρίου 2018, από 10 Ιανουαρίου 2019 έως 13 Μαρτίου 2019 και από 15 Μαΐου 2019 έως 15 Ιουνίου 2019.

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε με σκοπό να εξαχθούν οι τιμές των καναλιών από τις σκηνές στις θέσεις ενδιαφέροντος ήταν η εξής:

- Αρχικά στην πλατφόρμα 'NASA EARTHDATA Search', έγινε αναζήτηση των προϊόντων 'ECO1BGEO' για κάθε επίγειο σταθμό, βάση των συντεταγμένων του.
- Αφού εντοπίστηκαν όλες οι διαθέσιμες σκηνές 'ECO1BGEO' για κάθε επίγειο σταθμό, έγινε παραγγελία και λήψη των αρχείων.
- Τα 'ECO1BGEO' αρχεία κάθε σταθμού αποθηκεύτηκαν σε ξεχωριστό φάκελο και με τη χρήση του προγράμματος 'find info of data' στην γλώσσα προγραμματισμού 'Python', δημιουργήθηκε ένα αρχείο 'csv' για κάθε σταθμό το οποίο περιείχε κατάλογο των δεδομένων του σταθμού. Ο κατάλογος περιείχε για κάθε αρχείο λήψης, πληροφορίες όπως: ονομασία αρχείου, χρονολογία, ημέρα, μήνα, ώρα, λεπτό και δευτερόλεπτο λήψης της σκηνής.
- Στη συνέχεια, βάση του μοναδικού κωδικού, που προσδιόριζε την σκηνή λήψης, που είχε στο όνομά του κάθε προϊόν, έγινε αναζήτηση και λήψη των αντίστοιχων 'ECO1BRAD' προϊόντων.
- Αφού εντοπίστηκαν όλες οι σκηνές για κάθε σταθμό, τοποθετήθηκαν τα 'ECO1BRAD' και 'ECO1GEO' αρχεία σε κοινό φάκελο και με χρήση του κώδικα 'ECOSTRESS Swath to Grid Conversion Script' του Cole Krehbiel σε 'Python3' προέκυψε ένας νέος φάκελος ο οποίος περιείχε GeoTIFF αρχεία για κάθε κανάλι των εικόνων καθώς και για την ποιότητά τους.
- Τελικά έχοντας για κάθε σταθμό όλα τα 'GeoTIFF' αρχεία που προέκυψαν για τα 5 θερμικά κανάλια καθώς και το προηγούμενο 'csv' αρχείο με τον κατάλογο των δεδομένων, με χρήση του κώδικα 'extract values from GeoTIFF' σε 'Python', δημιουργήθηκε ένα νέο αρχείο 'csv' για κάθε σταθμό όπου για κάθε σκηνή μεταγραφόταν η τιμή του pixel της εικόνας στην θέση του επίγειου σταθμού για κάθε ένα από τα 5 κανάλια της εικόνας.

Έχοντας τελικά για κάθε σταθμό την φασματική πληροφορία από τις εικόνες, δημιουργήθηκαν οι δείκτες των καναλιών και μαζί με τα επίγεια δεδομένα, έγινε η ανάλυσή τους όπως περιγράφεται στη συνέχεια.

4.3.2 Δημιουργία δεικτών συσχετίσεων

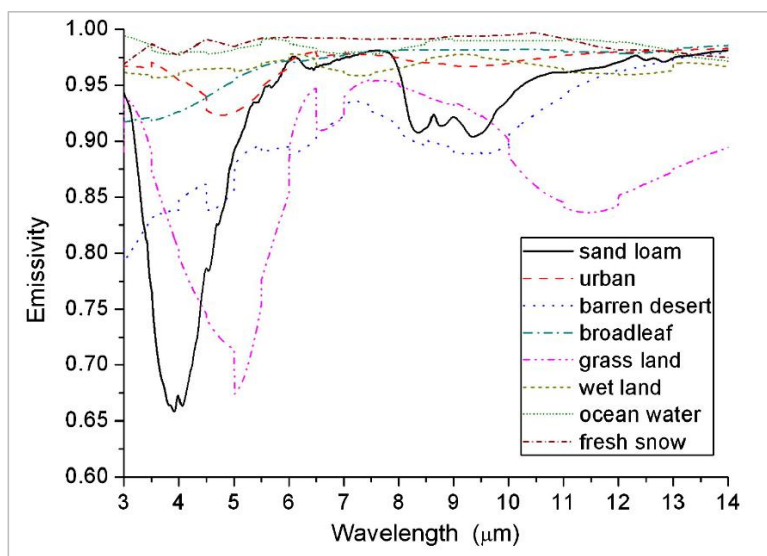
Τα φασματικά δεδομένων που προέκυψαν στο προηγούμενο στάδιο χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία των δεικτών, αφού απώτερος σκοπός της εργασίας ήταν μέσω της ανάλυσης παλινδρόμησης, να φανεί σε πιο βαθμό μπορούν οι

δείκτες που προκύπτουν από τα φασματικά δεδομένα να συσχετιστούν με τα επίγεια δεδομένα συγκέντρωσης μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα.

Οι δείκτες είναι πράξεις μεταξύ καναλιών ή οι λογάριθμοί τους ή η εκθετική συνάρτησή τους με βάση το e . Για όλα τα αέρια εξετάστηκαν οι ίδιοι 827 δείκτες. Οι δείκτες που διερευνήθηκαν ήταν δείκτες που δημιουργήθηκαν τυχαία, αφού στην βιβλιογραφία δεν φαίνεται να εξετάστηκαν ξανά τηλεπισκοπικά δεδομένα με αντίστοιχα φασματικά χαρακτηριστικά. Στους πίνακες 15 έως 18 παρουσιάζονται οι δείκτες διαχωρισμένοι ανάλογα με το πόσα κανάλια συμμετέχουν στον κάθε δείκτη.

Ο υπολογισμός των δεικτών πραγματοποιήθηκε σε 'Python' με τον κώδικα 'extract indicators'. Οπότε τελικά για κάθε σταθμό προέκυψε ένα αρχείο 'csv', στο οποίο για κάθε εικόνα, εκτός από τις τιμές ακτινοβολίας των καναλιών στην θέση του επίγειου σταθμού, περιείχε τους υπολογισμένους δείκτες.

Οι δείκτες υπολογίστηκαν δυο φορές. Τη μια φορά χρησιμοποιήθηκαν οι πρωτογενείς τιμές ακτινοβολίας ενώ τη δεύτερη φορά λήφθηκε υπόψη η χρήση κάλυψης γης κάθε περιοχής, γι' αυτό οι τιμές κάθε καναλιού πολλαπλασιάστηκαν με τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπής. Στον πίνακα 14 αναφέρονται οι συντελεστές που χρησιμοποιήθηκαν για κάθε κανάλι αναλόγως της κατηγορίας κάλυψης γης. Οι συντελεστές αυτοί προέκυψαν από το διάγραμμα 6 [Bohui Tang et al, 2008].



Διάγραμμα 6: Συντελεστής εκπομπής για διαφορετικές χρήσεις γης

Band	wavelength(μm)	Urban	Grass land	Broad leaf
1	8.29	0.97	0.94	0.98
2	8.78	0.97	0.93	0.98
3	9.2	0.97	0.93	0.98
4	10.49	0.97	0.86	0.98
5	12.09	0.98	0.86	0.97

Πίνακας 14: Συντελεστές εκπομπής

Πίνακας 15

Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 2 καναλιών	Δείκτες 2 καναλιών
d1=(abs(EB1-EB2))/(EB1+EB2)	d111=ln(EB1/EB2)	dd231=ln((EB1+EB2)/EB1)	d58=EB3/(EB3+EB4)	d266=ln(EB4/(EB2+EB4))
d2=(abs(EB1-EB3))/(EB1+EB3)	d112=ln(EB1/EB3)	dd232=ln((EB1+EB3)/EB1)	d59=EB3/(EB3+EB5)	d268=ln(EB4/(EB3+EB4))
d3=(abs(EB1-EB4))/(EB1+EB4)	d113=ln(EB1/EB4)	dd233=ln((EB1+EB4)/EB1)	d152=exp(EB3/(EB1+EB3))	d270=ln(EB4/(EB4+EB5))
d4=(abs(EB1-EB5))/(EB1+EB5)	d114=ln(EB1/EB5)	dd234=ln((EB1+EB5)/EB1)	d155=exp(EB3/(EB2+EB3))	dd63=(EB1+EB4)/EB4
d5=(abs(EB2-EB3))/(EB2+EB3)	d115=ln(EB2/EB3)	d41=EB2/(EB1+EB2)	d158=exp(EB3/(EB3+EB4))	dd66=(EB2+EB4)/EB4
d6=(abs(EB2-EB4))/(EB2+EB4)	d116=ln(EB2/EB4)	d45=EB2/(EB2+EB3)	d159=exp(EB3/(EB3+EB5))	dd68=(EB3+EB4)/EB4
d7=(abs(EB2-EB5))/(EB2+EB5)	d117=ln(EB2/EB5)	d46=EB2/(EB2+EB4)	d252=ln(EB3/(EB1+EB3))	dd70=(EB4+EB5)/EB4
d8=(abs(EB3-EB4))/(EB3+EB4)	d118=ln(EB3/EB4)	d47=EB2/(EB2+EB5)	d255=ln(EB3/(EB2+EB3))	dd163=exp((EB1+EB4)/EB4)
d9=(abs(EB3-EB5))/(EB3+EB5)	d119=ln(EB3/EB5)	d141=exp(EB2/(EB1+EB2))	d258=ln(EB3/(EB3+EB4))	dd166=exp((EB2+EB4)/EB4)
d10=(abs(EB4-EB5))/(EB4+EB5)	d120=ln(EB4/EB5)	d145=exp(EB2/(EB2+EB3))	d259=ln(EB3/(EB3+EB5))	dd168=exp((EB3+EB4)/EB4)
d11=EB1/EB2	d31=EB1/(EB1+EB2)	d146=exp(EB2/(EB2+EB4))	dd52=(EB1+EB3)/EB3	dd170=exp((EB4+EB5)/EB4)
d12=EB1/EB3	d32=EB1/(EB1+EB3)	d147=exp(EB2/(EB2+EB5))	dd55=(EB2+EB3)/EB3	dd263=ln((EB1+EB4)/EB4)
d13=EB1/EB4	d33=EB1/(EB1+EB4)	d241=ln(EB2/(EB1+EB2))	dd58=(EB3+EB4)/EB3	dd266=ln((EB2+EB4)/EB4)
d14=EB1/EB5	d34=EB1/(EB1+EB5)	d245=ln(EB2/(EB2+EB3))	dd59=(EB3+EB5)/EB3	dd268=ln((EB3+EB4)/EB4)
d15=EB2/EB3	d131=exp(EB1/(EB1+EB2))	d246=ln(EB2/(EB2+EB4))	dd152=exp((EB1+EB3)/EB3)	dd270=ln((EB4+EB5)/EB4)
d16=EB2/EB4	d132=exp(EB1/(EB1+EB3))	d247=ln(EB2/(EB2+EB5))	dd155=exp((EB2+EB3)/EB3)	d74=EB5/(EB1+EB5)
d17=EB2/EB5	d133=exp(EB1/(EB1+EB4))	dd41=(EB1+EB2)/EB2	dd159=exp((EB3+EB5)/EB3)	d77=EB5/(EB2+EB5)
d18=EB3/EB4	d134=exp(EB1/(EB1+EB5))	dd45=(EB2+EB3)/EB2	dd252=ln((EB1+EB3)/EB3)	d79=EB5/(EB3+EB5)
d19=EB3/EB5	d231=ln(EB1/(EB1+EB2))	dd46=(EB2+EB4)/EB2	dd255=ln((EB2+EB3)/EB3)	d80=EB5/(EB4+EB5)
d20=EB4/EB5	d232=ln(EB1/(EB1+EB3))	dd47=(EB2+EB5)/EB2	dd258=ln((EB3+EB4)/EB3)	d174=exp(EB5/(EB1+EB5))
d21=exp(EB1/EB2)	d233=ln(EB1/(EB1+EB4))	dd141=exp((EB1+EB2)/EB2)	dd259=ln((EB3+EB5)/EB3)	d177=exp(EB5/(EB2+EB5))
d22=exp(EB1/EB3)	d234=ln(EB1/(EB1+EB5))	dd145=exp((EB2+EB3)/EB2)	d63=EB4/(EB1+EB4)	d179=exp(EB5/(EB3+EB5))
d23=exp(EB1/EB4)	dd31=(EB1+EB2)/EB1	dd146=exp((EB2+EB4)/EB2)	d66=EB4/(EB2+EB4)	d180=exp(EB5/(EB4+EB5))
d24=exp(EB1/EB5)	dd32=(EB1+EB3)/EB1	dd147=exp((EB2+EB5)/EB2)	d68=EB4/(EB3+EB4)	d274=ln(EB5/(EB1+EB5))
d25=exp(EB2/EB3)	dd33=(EB1+EB4)/EB1	dd241=ln((EB1+EB2)/EB2)	d70=EB4/(EB4+EB5)	d277=ln(EB5/(EB2+EB5))
d26=exp(EB2/EB4)	dd34=(EB1+EB5)/EB1	dd245=ln((EB2+EB3)/EB2)	d163=exp(EB4/(EB1+EB4))	d279=ln(EB5/(EB3+EB5))
d27=exp(EB2/EB5)	dd131=exp((EB1+EB2)/EB1)	dd246=ln((EB2+EB4)/EB2)	d166=exp(EB4/(EB2+EB4))	d280=ln(EB5/(EB4+EB5))
d28=exp(EB3/EB4)	dd132=exp((EB1+EB3)/EB1)	dd247=ln((EB2+EB5)/EB2)	d168=exp(EB4/(EB3+EB4))	dd74=(EB1+EB5)/EB5
d29=exp(EB3/EB5)	dd133=exp((EB1+EB4)/EB1)	d52=EB3/(EB1+EB3)	d170=exp(EB4/(EB4+EB5))	dd77=(EB2+EB5)/EB5
d30=exp(EB4/EB5)	dd134=exp((EB1+EB5)/EB1)	d55=EB3/(EB2+EB3)	d263=ln(EB4/(EB1+EB4))	dd79=(EB3+EB5)/EB5

Πίνακας 16

Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών	Δείκτες 3 καναλιών
d135=exp(EB1/(EB2+EB3))	d264=ln(EB4/(EB1+EB5))	dd149=exp((EB3+EB5)/EB2)	dd278=ln((EB3+EB4)/EB5)
d136=exp(EB1/(EB2+EB4))	d265=ln(EB4/(EB2+EB3))	dd150=exp((EB4+EB5)/EB2)	dd35=(EB2+EB3)/EB1
d137=exp(EB1/(EB2+EB5))	d267=ln(EB4/(EB2+EB5))	dd151=exp((EB1+EB2)/EB3)	dd36=(EB2+EB4)/EB1
d138=exp(EB1/(EB3+EB4))	d269=ln(EB4/(EB3+EB5))	dd153=exp((EB1+EB4)/EB3)	dd37=(EB2+EB5)/EB1
d139=exp(EB1/(EB3+EB5))	d271=ln(EB5/(EB1+EB2))	dd154=exp((EB1+EB5)/EB3)	dd38=(EB3+EB4)/EB1
d140=exp(EB1/(EB4+EB5))	d272=ln(EB5/(EB1+EB3))	dd156=exp((EB2+EB4)/EB3)	dd39=(EB3+EB5)/EB1
d142=exp(EB2/(EB1+EB3))	d273=ln(EB5/(EB1+EB4))	dd157=exp((EB2+EB5)/EB3)	dd40=(EB4+EB5)/EB1
d143=exp(EB2/(EB1+EB4))	d275=ln(EB5/(EB2+EB3))	dd158=exp((EB3+EB4)/EB3)	dd42=(EB1+EB3)/EB2
d144=exp(EB2/(EB1+EB5))	d276=ln(EB5/(EB2+EB4))	dd160=exp((EB4+EB5)/EB3)	dd43=(EB1+EB4)/EB2
d148=exp(EB2/(EB3+EB4))	d278=ln(EB5/(EB3+EB4))	dd161=exp((EB1+EB2)/EB4)	dd44=(EB1+EB5)/EB2
d149=exp(EB2/(EB3+EB5))	d35=EB1/(EB2+EB3)	dd162=exp((EB1+EB3)/EB4)	dd48=(EB3+EB4)/EB2
d150=exp(EB2/(EB4+EB5))	d36=EB1/(EB2+EB4)	dd164=exp((EB1+EB5)/EB4)	dd49=(EB3+EB5)/EB2
d151=exp(EB3/(EB1+EB2))	d37=EB1/(EB2+EB5)	dd165=exp((EB2+EB3)/EB4)	dd50=(EB4+EB5)/EB2
d153=exp(EB3/(EB1+EB4))	d38=EB1/(EB3+EB4)	dd167=exp((EB2+EB5)/EB4)	dd51=(EB1+EB2)/EB3
d154=exp(EB3/(EB1+EB5))	d39=EB1/(EB3+EB5)	dd169=exp((EB3+EB5)/EB4)	dd53=(EB1+EB4)/EB3
d156=exp(EB3/(EB2+EB4))	d40=EB1/(EB4+EB5)	dd171=exp((EB1+EB2)/EB5)	dd54=(EB1+EB5)/EB3
d157=exp(EB3/(EB2+EB5))	d42=EB2/(EB1+EB3)	dd172=exp((EB1+EB3)/EB5)	dd56=(EB2+EB4)/EB3
d160=exp(EB3/(EB4+EB5))	d43=EB2/(EB1+EB4)	dd173=exp((EB1+EB4)/EB5)	dd57=(EB2+EB5)/EB3
d161=exp(EB4/(EB1+EB2))	d44=EB2/(EB1+EB5)	dd175=exp((EB2+EB3)/EB5)	dd60=(EB4+EB5)/EB3
d162=exp(EB4/(EB1+EB3))	d48=EB2/(EB3+EB4)	dd176=exp((EB2+EB4)/EB5)	dd61=(EB1+EB2)/EB4
d164=exp(EB4/(EB1+EB5))	d49=EB2/(EB3+EB5)	dd178=exp((EB3+EB4)/EB5)	dd62=(EB1+EB3)/EB4
d165=exp(EB4/(EB2+EB3))	d50=EB2/(EB4+EB5)	dd235=ln((EB2+EB3)/EB1)	dd64=(EB1+EB5)/EB4
d167=exp(EB4/(EB2+EB5))	d51=EB3/(EB1+EB2)	dd236=ln((EB2+EB4)/EB1)	dd65=(EB2+EB3)/EB4
d169=exp(EB4/(EB3+EB5))	d53=EB3/(EB1+EB4)	dd237=ln((EB2+EB5)/EB1)	dd67=(EB2+EB5)/EB4
d171=exp(EB5/(EB1+EB2))	d54=EB3/(EB1+EB5)	dd238=ln((EB3+EB4)/EB1)	dd69=(EB3+EB5)/EB4
d172=exp(EB5/(EB1+EB3))	d56=EB3/(EB2+EB4)	dd239=ln((EB3+EB5)/EB1)	dd71=(EB1+EB2)/EB5
d173=exp(EB5/(EB1+EB4))	d57=EB3/(EB2+EB5)	dd240=ln((EB4+EB5)/EB1)	dd72=(EB1+EB3)/EB5
d175=exp(EB5/(EB2+EB3))	d60=EB3/(EB4+EB5)	dd242=ln((EB1+EB3)/EB2)	dd73=(EB1+EB4)/EB5
d176=exp(EB5/(EB2+EB4))	d61=EB4/(EB1+EB2)	dd243=ln((EB1+EB4)/EB2)	dd75=(EB2+EB3)/EB5
d178=exp(EB5/(EB3+EB4))	d62=EB4/(EB1+EB3)	dd244=ln((EB1+EB5)/EB2)	dd76=(EB2+EB4)/EB5
d235=ln(EB1/(EB2+EB3))	d64=EB4/(EB1+EB5)	dd248=ln((EB3+EB4)/EB2)	dd78=(EB3+EB4)/EB5
d236=ln(EB1/(EB2+EB4))	d65=EB4/(EB2+EB3)	dd249=ln((EB3+EB5)/EB2)	dd01=(EB3+EB4+EB5)/3
d237=ln(EB1/(EB2+EB5))	d67=EB4/(EB2+EB5)	dd250=ln((EB4+EB5)/EB2)	dd101=exp((EB3+EB4+EB5)/3)
d238=ln(EB1/(EB3+EB4))	d69=EB4/(EB3+EB5)	dd251=ln((EB1+EB2)/EB3)	dd201=ln((EB3+EB4+EB5)/3)
d239=ln(EB1/(EB3+EB5))	d71=EB5/(EB1+EB2)	dd253=ln((EB1+EB4)/EB3)	dd03=EB3+EB4+EB5
d240=ln(EB1/(EB4+EB5))	d72=EB5/(EB1+EB3)	dd254=ln((EB1+EB5)/EB3)	dd103=exp(EB3+EB4+EB5)
d242=ln(EB2/(EB1+EB3))	d73=EB5/(EB1+EB4)	dd256=ln((EB2+EB4)/EB3)	dd203=ln(EB3+EB4+EB5)
d243=ln(EB2/(EB1+EB4))	d75=EB5/(EB2+EB3)	dd257=ln((EB2+EB5)/EB3)	
d244=ln(EB2/(EB1+EB5))	d76=EB5/(EB2+EB4)	dd260=ln((EB4+EB5)/EB3)	
d248=ln(EB2/(EB3+EB4))	d78=EB5/(EB3+EB4)	dd261=ln((EB1+EB2)/EB4)	
d249=ln(EB2/(EB3+EB5))	dd135=exp((EB2+EB3)/EB1)	dd262=ln((EB1+EB3)/EB4)	
d250=ln(EB2/(EB4+EB5))	dd136=exp((EB2+EB4)/EB1)	dd264=ln((EB1+EB5)/EB4)	
d251=ln(EB3/(EB1+EB2))	dd137=exp((EB2+EB5)/EB1)	dd265=ln((EB2+EB3)/EB4)	
d253=ln(EB3/(EB1+EB4))	dd138=exp((EB3+EB4)/EB1)	dd267=ln((EB2+EB5)/EB4)	
d254=ln(EB3/(EB1+EB5))	dd139=exp((EB3+EB5)/EB1)	dd269=ln((EB3+EB5)/EB4)	
d256=ln(EB3/(EB2+EB4))	dd140=exp((EB4+EB5)/EB1)	dd271=ln((EB1+EB2)/EB5)	
d257=ln(EB3/(EB2+EB5))	dd142=exp((EB1+EB3)/EB2)	dd272=ln((EB1+EB3)/EB5)	
d260=ln(EB3/(EB4+EB5))	dd143=exp((EB1+EB4)/EB2)	dd273=ln((EB1+EB4)/EB5)	
d261=ln(EB4/(EB1+EB2))	dd144=exp((EB1+EB5)/EB2)	dd275=ln((EB2+EB3)/EB5)	
d262=ln(EB4/(EB1+EB3))	dd148=exp((EB3+EB4)/EB2)	dd276=ln((EB2+EB4)/EB5)	

Πίνακας 17

Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών
d90=EB1/(EB1+EB2+EB3)	dd204=ln(EB3/(EB1+EB2+EB3))	e06=(EB1+EB3-EB5)/EB1	e119=exp((EB2+EB5-EB1)/EB1)	i05=(EB1+EB3-EB4)/EB2
d91=EB1/(EB1+EB3+EB4)	dd205=ln(EB3/(EB1+EB3+EB4))	e07=(EB1+EB4-EB2)/EB1	e120=exp((EB2+EB5-EB3)/EB1)	i06=(EB1+EB3-EB5)/EB2
d92=EB1/(EB1+EB4+EB5)	dd206=ln(EB3/(EB1+EB4+EB5))	e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1	e121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB1)	i07=(EB1+EB4-EB2)/EB2
d93=EB1/(EB2+EB3+EB4)	dd207=ln(EB3/(EB2+EB3+EB4))	e09=(EB1+EB4-EB5)/EB1	e122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB1)	i08=(EB1+EB4-EB3)/EB2
d94=EB1/(EB3+EB4+EB5)	dd208=ln(EB3/(EB3+EB4+EB5))	e10=(EB1+EB5-EB2)/EB1	e123=exp((EB3+EB4-EB2)/EB1)	i09=(EB1+EB4-EB5)/EB2
d190=exp(EB1/(EB1+EB2+EB3))	dd09=EB4/(EB1+EB2+EB3)	e11=(EB1+EB5-EB3)/EB1	e124=exp((EB3+EB4-EB5)/EB1)	i10=(EB1+EB5-EB2)/EB2
d191=exp(EB1/(EB1+EB3+EB4))	dd10=EB4/(EB1+EB3+EB4)	e12=(EB1+EB5-EB4)/EB1	e125=exp((EB4+EB5-EB1)/EB1)	i11=(EB1+EB5-EB3)/EB2
d192=exp(EB1/(EB1+EB4+EB5))	dd11=EB4/(EB1+EB4+EB5)	e13=(EB2+EB3-EB1)/EB1	e126=exp((EB4+EB5-EB2)/EB1)	i12=(EB1+EB5-EB4)/EB2
d193=exp(EB1/(EB2+EB3+EB4))	dd12=EB4/(EB2+EB3+EB4)	e14=(EB2+EB3-EB4)/EB1	e127=exp((EB4+EB5-EB3)/EB1)	i13=(EB2+EB3-EB1)/EB2
d194=exp(EB1/(EB3+EB4+EB5))	dd13=EB4/(EB3+EB4+EB5)	e15=(EB2+EB3-EB5)/EB1	e201=ln((EB1+EB2-EB3)/EB1)	i14=(EB2+EB3-EB4)/EB2
d290=ln(EB1/(EB1+EB2+EB3))	dd109=exp(EB4/(EB1+EB2+EB3))	e16=(EB2+EB4-EB1)/EB1	e202=ln((EB1+EB2-EB4)/EB1)	i15=(EB2+EB3-EB5)/EB2
d291=ln(EB1/(EB1+EB3+EB4))	dd110=exp(EB4/(EB1+EB3+EB4))	e17=(EB2+EB4-EB3)/EB1	e203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB1)	i16=(EB2+EB4-EB1)/EB2
d292=ln(EB1/(EB1+EB4+EB5))	dd111=exp(EB4/(EB1+EB4+EB5))	e18=(EB2+EB4-EB5)/EB1	e204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB1)	i17=(EB2+EB4-EB3)/EB2
d293=ln(EB1/(EB2+EB3+EB4))	dd112=exp(EB4/(EB2+EB3+EB4))	e19=(EB2+EB5-EB1)/EB1	e205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB1)	i18=(EB2+EB4-EB5)/EB2
d294=ln(EB1/(EB3+EB4+EB5))	dd113=exp(EB4/(EB3+EB4+EB5))	e20=(EB2+EB5-EB3)/EB1	e206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)	i19=(EB2+EB5-EB1)/EB2
d209=ln(EB1/(EB1+EB2+EB3))	dd209=ln(EB4/(EB1+EB2+EB3))	e21=(EB2+EB5-EB4)/EB1	e207=ln((EB1+EB4-EB2)/EB1)	i20=(EB2+EB5-EB3)/EB2
d210=ln(EB4/(EB1+EB3+EB4))	dd210=ln(EB4/(EB1+EB3+EB4))	e22=(EB3+EB4-EB1)/EB1	e208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)	i21=(EB2+EB4-EB4)/EB2
d211=ln(EB4/(EB1+EB4+EB5))	dd211=ln(EB4/(EB1+EB4+EB5))	e23=(EB3+EB4-EB2)/EB1	e209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB1)	i22=(EB3+EB4-EB1)/EB2
d212=ln(EB4/(EB2+EB3+EB4))	dd212=ln(EB4/(EB2+EB3+EB4))	e24=(EB3+EB4-EB5)/EB1	e210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB1)	i23=(EB3+EB4-EB2)/EB2
d213=ln(EB4/(EB3+EB4+EB5))	dd213=ln(EB4/(EB3+EB4+EB5))	e25=(EB4+EB5-EB1)/EB1	e211=ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)	i24=(EB3+EB4-EB5)/EB2
d195=exp(EB2/(EB1+EB2+EB3))	dd14=EB5/(EB1+EB2+EB3)	e26=(EB4+EB5-EB2)/EB1	e212=ln((EB1+EB5-EB4)/EB1)	i25=(EB4+EB5-EB1)/EB2
d196=exp(EB2/(EB1+EB3+EB4))	dd15=EB5/(EB1+EB3+EB4)	e27=(EB4+EB5-EB3)/EB1	e213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB1)	i26=(EB4+EB5-EB2)/EB2
d197=exp(EB2/(EB1+EB4+EB5))	dd16=EB5/(EB1+EB4+EB5)	e101=exp((EB1+EB2-EB3)/EB1)	e214=ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)	i27=(EB4+EB5-EB3)/EB2
d198=exp(EB2/(EB2+EB3+EB4))	dd17=EB5/(EB2+EB3+EB4)	e102=exp((EB1+EB2-EB4)/EB1)	e215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)	i101=exp((EB1+EB2-EB3)/EB2)
d199=exp(EB2/(EB3+EB4+EB5))	dd18=EB5/(EB3+EB4+EB5)	e103=exp((EB1+EB2-EB5)/EB1)	e216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB1)	i102=exp((EB1+EB2-EB4)/EB2)
d295=ln(EB2/(EB1+EB2+EB3))	dd114=exp(EB5/(EB1+EB2+EB3))	e104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB1)	e217=ln((EB2+EB4-EB3)/EB1)	i103=exp((EB1+EB2-EB5)/EB2)
d296=ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))	dd115=exp(EB5/(EB1+EB3+EB4))	e105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)	e218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB1)	i104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB2)
d297=ln(EB2/(EB1+EB4+EB5))	dd116=exp(EB5/(EB1+EB4+EB5))	e106=exp((EB1+EB3-EB5)/EB1)	e219=ln((EB2+EB5-EB1)/EB1)	t15=(EB2+EB3-EB5)/EB4
d298=ln(EB2/(EB2+EB3+EB4))	dd117=exp(EB5/(EB2+EB3+EB4))	e107=exp((EB1+EB4-EB2)/EB1)	e220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB1)	t16=(EB2+EB4-EB1)/EB4
d299=ln(EB2/(EB3+EB4+EB5))	dd118=exp(EB5/(EB3+EB4+EB5))	e108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB1)	e221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB1)	t17=(EB2+EB4-EB3)/EB4
dd04=EB3/(EB1+EB2+EB3)	dd214=ln(EB5/(EB1+EB2+EB3))	e109=exp((EB1+EB4-EB5)/EB1)	e222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB1)	t18=(EB2+EB4-EB5)/EB4
dd05=EB3/(EB1+EB3+EB4)	dd215=ln(EB5/(EB1+EB3+EB4))	e110=exp((EB1+EB5-EB2)/EB1)	e223=ln((EB3+EB4-EB2)/EB1)	t19=(EB2+EB5-EB1)/EB4
dd06=EB3/(EB1+EB4+EB5)	dd216=ln(EB5/(EB1+EB4+EB5))	e111=exp((EB1+EB5-EB3)/EB1)	e224=ln((EB3+EB4-EB5)/EB1)	t20=(EB2+EB5-EB3)/EB4
dd07=EB3/(EB2+EB3+EB4)	dd217=ln(EB5/(EB2+EB3+EB4))	e112=exp((EB1+EB5-EB4)/EB1)	e225=ln((EB4+EB5-EB1)/EB1)	t21=(EB2+EB5-EB4)/EB4
dd08=EB3/(EB3+EB4+EB5)	dd218=ln(EB5/(EB3+EB4+EB5))	e113=exp((EB2+EB3-EB1)/EB1)	e226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB1)	t22=(EB2+EB5-EB4)/EB4
dd104=exp(EB3/(EB1+EB2+EB3))	e01=(EB1+EB2-EB3)/EB1	e114=exp((EB2+EB3-EB4)/EB1)	e227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB1)	t23=(EB3+EB4-EB1)/EB4
dd105=exp(EB3/(EB1+EB3+EB4))	e02=(EB1+EB2-EB4)/EB1	e115=exp((EB2+EB3-EB5)/EB1)	i01=(EB1+EB2-EB3)/EB2	t24=(EB3+EB4-EB5)/EB4
dd106=exp(EB3/(EB1+EB4+EB5))	e03=(EB1+EB2-EB5)/EB1	e116=exp((EB2+EB4-EB1)/EB1)	i02=(EB1+EB2-EB4)/EB2	t25=(EB4+EB5-EB1)/EB4
dd107=exp(EB3/(EB2+EB3+EB4))	e04=(EB1+EB3-EB2)/EB1	e117=exp((EB2+EB4-EB3)/EB1)	i03=(EB1+EB2-EB5)/EB2	t26=(EB4+EB5-EB2)/EB4
dd108=exp(EB3/(EB3+EB4+EB5))	e05=(EB1+EB3-EB4)/EB1	e118=exp((EB2+EB4-EB5)/EB1)	i04=(EB1+EB3-EB2)/EB2	t27=(EB4+EB5-EB3)/EB4

Πίνακας 18

Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών	Δείκτες 4 καναλιών
i116=exp((EB2+EB4-EB1)/EB2)	k02=(EB1+EB2-EB4)/EB3	k115=exp((EB2+EB3-EB5)/EB3)	t01=(EB1+EB2-EB3)/EB4	s02=(EB1+EB2-EB4)/EB5
i117=exp((EB2+EB4-EB3)/EB2)	k03=(EB1+EB2-EB5)/EB3	k116=exp((EB2+EB4-EB1)/EB3)	t02=(EB1+EB2-EB4)/EB4	s03=(EB1+EB2-EB5)/EB5
i118=exp((EB2+EB4-EB5)/EB2)	k04=(EB1+EB3-EB2)/EB3	k117=exp((EB3+EB4-EB3)/EB3)	t03=(EB1+EB2-EB5)/EB4	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
i119=exp((EB2+EB5-EB1)/EB2)	k05=(EB1+EB3-EB4)/EB3	k118=exp((EB2+EB4-EB5)/EB3)	t04=(EB1+EB3-EB2)/EB4	s05=(EB1+EB3-EB4)/EB5
i120=exp((EB2+EB5-EB3)/EB2)	k06=(EB1+EB3-EB5)/EB3	k119=exp((EB2+EB5-EB1)/EB3)	t05=(EB1+EB3-EB4)/EB4	s06=(EB1+EB3-EB5)/EB5
i121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB2)	k07=(EB1+EB4-EB2)/EB3	k120=exp((EB2+EB5-EB3)/EB3)	t06=(EB1+EB3-EB5)/EB4	s07=(EB1+EB4-EB2)/EB5
i122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB2)	k08=(EB1+EB4-EB3)/EB3	k121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB3)	t07=(EB1+EB4-EB2)/EB4	s08=(EB1+EB4-EB3)/EB5
i123=exp((EB3+EB4-EB2)/EB2)	k09=(EB1+EB4-EB5)/EB3	k122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB3)	t08=(EB1+EB4-EB3)/EB4	s09=(EB1+EB4-EB5)/EB5
i124=exp((EB3+EB4-EB5)/EB2)	k10=(EB1+EB5-EB2)/EB3	k123=exp((EB3+EB4-EB2)/EB3)	t09=(EB1+EB4-EB5)/EB4	s10=(EB1+EB5-EB2)/EB5
i125=exp((EB4+EB5-EB1)/EB2)	k11=(EB1+EB5-EB3)/EB3	k124=exp((EB3+EB4-EB5)/EB3)	t10=(EB1+EB5-EB2)/EB4	s11=(EB1+EB5-EB3)/EB5
i126=exp((EB4+EB5-EB2)/EB2)	k12=(EB1+EB5-EB4)/EB3	k125=exp((EB4+EB5-EB1)/EB3)	t11=(EB1+EB5-EB3)/EB4	s12=(EB1+EB5-EB4)/EB5
i127=exp((EB4+EB5-EB3)/EB2)	k13=(EB2+EB3-EB1)/EB3	k126=exp((EB4+EB5-EB2)/EB3)	t12=(EB1+EB5-EB4)/EB4	s13=(EB2+EB3-EB1)/EB5
i201=ln((EB1+EB2-EB3)/EB2)	k14=(EB2+EB3-EB4)/EB3	k127=exp((EB4+EB5-EB3)/EB3)	t13=(EB2+EB3-EB1)/EB4	s14=(EB2+EB3-EB4)/EB5
i202=ln((EB1+EB2-EB4)/EB2)	k15=(EB2+EB3-EB5)/EB3	k201=ln((EB1+EB2-EB3)/EB3)	t14=(EB2+EB3-EB4)/EB4	s15=(EB2+EB3-EB5)/EB5
i203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB2)	k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3	k202=ln((EB1+EB2-EB4)/EB3)	t203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB4)	s16=(EB2+EB4-EB1)/EB5
i204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB2)	k17=(EB2+EB4-EB3)/EB3	k203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB3)	t204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB4)	s17=(EB2+EB4-EB3)/EB5
i205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB2)	k18=(EB2+EB4-EB5)/EB3	k204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB3)	t205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB4)	s18=(EB2+EB4-EB5)/EB5
i206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB2)	k19=(EB2+EB5-EB1)/EB3	k205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB3)	t206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB4)	s19=(EB2+EB5-EB1)/EB5
i207=ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)	k20=(EB2+EB5-EB3)/EB3	k206=ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)	t207=ln((EB1+EB4-EB2)/EB4)	s20=(EB2+EB5-EB3)/EB5
i208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)	k21=(EB2+EB5-EB4)/EB3	k207=ln((EB1+EB4-EB3)/EB3)	t208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB4)	s21=(EB2+EB5-EB4)/EB5
i209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB2)	k22=(EB3+EB4-EB1)/EB3	k208=ln((EB1+EB4-EB5)/EB3)	t209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB4)	s22=(EB3+EB4-EB1)/EB5
i210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)	k23=(EB3+EB4-EB2)/EB3	k209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB3)	t210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB4)	s23=(EB3+EB4-EB2)/EB5
i211=ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)	k24=(EB3+EB4-EB5)/EB3	k210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)	t211=ln((EB1+EB5-EB3)/EB4)	s24=(EB3+EB4-EB5)/EB5
i212=ln((EB1+EB5-EB4)/EB2)	k25=(EB4+EB5-EB1)/EB3	k211=ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)	t212=ln((EB1+EB5-EB4)/EB4)	s25=(EB4+EB5-EB1)/EB5
i213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB2)	k26=(EB4+EB5-EB2)/EB3	k212=ln((EB1+EB5-EB4)/EB3)	t213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)	s26=(EB4+EB5-EB2)/EB5
i214=ln((EB2+EB3-EB4)/EB2)	k27=(EB4+EB5-EB3)/EB3	k213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB3)	t214=ln((EB2+EB3-EB4)/EB4)	s27=(EB4+EB5-EB3)/EB5
i215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)	k101=exp((EB1+EB2-EB3)/EB3)	k214=ln((EB2+EB3-EB4)/EB3)	t215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB4)	s101=exp((EB1+EB2-EB3)/EB5)
i216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB2)	k102=exp((EB1+EB2-EB4)/EB3)	k215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB3)	t216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB4)	s102=exp((EB1+EB2-EB4)/EB5)
i217=ln((EB2+EB4-EB3)/EB2)	k103=exp((EB1+EB2-EB5)/EB3)	k216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)	t217=ln((EB2+EB4-EB3)/EB4)	s103=exp((EB1+EB2-EB5)/EB5)
i218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB2)	k104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB3)	k217=ln((EB2+EB4-EB3)/EB3)	t218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB4)	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
i219=ln((EB2+EB5-EB1)/EB2)	k105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB3)	k218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB3)	t219=ln((EB2+EB5-EB1)/EB4)	s105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB5)
i220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)	k106=exp((EB1+EB3-EB5)/EB3)	k219=ln((EB2+EB5-EB1)/EB3)	t220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB4)	s106=exp((EB1+EB3-EB5)/EB5)
i221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB2)	k107=exp((EB1+EB4-EB2)/EB3)	k220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB3)	t221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB4)	s107=exp((EB1+EB4-EB2)/EB5)
i222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB2)	k108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB3)	k221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB3)	t222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB4)	s108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB5)
i223=ln((EB3+EB4-EB2)/EB2)	k109=exp((EB1+EB4-EB5)/EB3)	k222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB3)	t223=ln((EB3+EB4-EB2)/EB4)	s109=exp((EB1+EB4-EB5)/EB5)
i224=ln((EB3+EB4-EB5)/EB2)	k110=exp((EB1+EB5-EB2)/EB3)	k223=ln((EB3+EB4-EB2)/EB3)	t224=ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)	s110=exp((EB1+EB5-EB2)/EB5)
i225=ln((EB4+EB5-EB1)/EB2)	k111=exp((EB1+EB5-EB3)/EB3)	k224=ln((EB3+EB4-EB5)/EB3)	t225=ln((EB4+EB5-EB1)/EB4)	s111=exp((EB1+EB5-EB3)/EB5)
i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)	k112=exp((EB1+EB5-EB4)/EB3)	k225=ln((EB4+EB5-EB1)/EB3)	t226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB4)	s112=exp((EB1+EB5-EB4)/EB5)
i227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB2)	k113=exp((EB2+EB3-EB1)/EB3)	k226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB3)	t227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)	s113=exp((EB2+EB3-EB1)/EB5)
k01=(EB1+EB2-EB3)/EB3	k114=exp((EB2+EB3-EB4)/EB3)	k227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB3)	s01=(EB1+EB2-EB3)/EB5	s114=exp((EB2+EB3-EB4)/EB5)

4.3.3 Ανάλυση συσχέτισης

Αφού έγινε η συλλογή των επίγειων και τηλεπισκοπικών δεδομένων και υπολογίστηκαν όλοι οι δείκτες, προέκυψε το τελικό αρχείο 'csv', το οποίο περιλάμβανε:

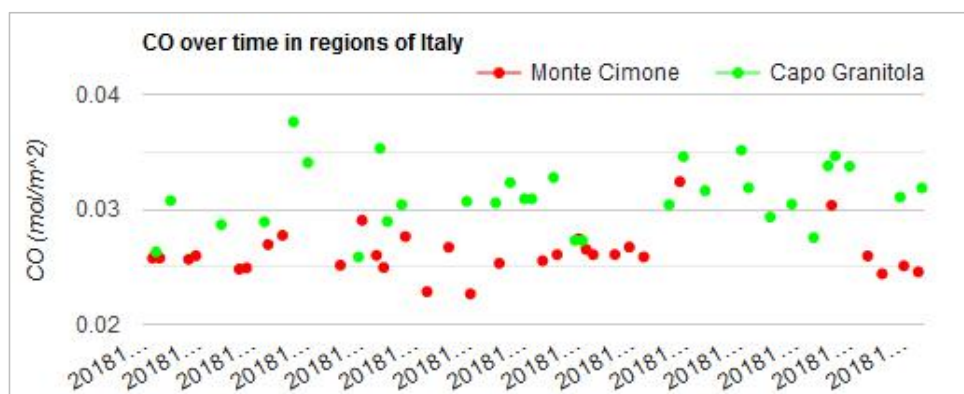
- την ονομασία της εικόνας που χρησιμοποιήθηκε,
- τις συγκεντρώσεις μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα,
- τις τιμές των 5 θερμικών καναλιών στις θέσεις ενδιαφέροντος,
- τις τιμές των 5 θερμικών καναλιών πολλαπλασιασμένες με τον αντίστοιχο συντελεστή εκπομπής και
- τις τιμές των 827 δεικτών.

Έχοντας για κάθε σταθμό τα απαραίτητα δεδομένα όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η ανάλυση των δεδομένων με τη μέθοδο της παλινδρόμησης. Ως εξαρτημένη μεταβλητή ορίστηκε η συγκέντρωση του αερίου μελέτης και ως ανεξάρτητη μεταβλητή ορίστηκε ο εκάστοτε δείκτης.

4.4 Αξιολόγηση δορυφορικών δεδομένων μονοξειδίου του άνθρακα Sentinel-5P και αναπροσαρμογή μοντέλων

4.4.1 Συλλογή δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων ελέγχου

Η διαδικασία συλλογής των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel-5P, πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά μέσω της πλατφόρμας 'Google Earth Engine'. Με χρήση κώδικα γραμμένου σε 'JavaScript' εξάχθηκαν οι τιμές μονοξειδίου του άνθρακα που αφορούσαν τις θέσεις των σταθμών Monte Cimone και Capo Granitola από όλες τις διαθέσιμες εικόνες Sentinel-5P στο χρονικό διάστημα ενδιαφέροντος. Χρησιμοποιήθηκαν τα 'Near Real-Time' προϊόντα δευτέρου επιπέδου του δορυφόρου Sentinel-5P που αφορούσαν τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα. Τα δεδομένα αρχικά παρουσιάστηκαν σε μορφή γραφήματος, όπως φαίνεται στην εικόνα 10.

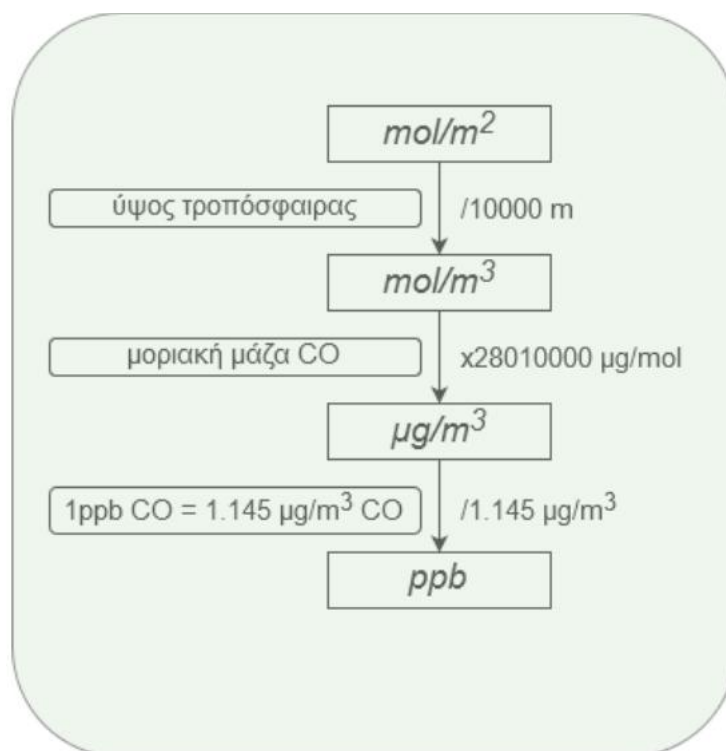


Εικόνα 10: Στιγμιότυπο γραφήματος που απεικονίζει τη συγκέντρωση CO κατά τη διάρκεια του χρόνου, στους επίγειους σταθμούς μέτρησης Monte Cimone και Capo Granitola.

Η πλατφόρμα δίνει τη δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων των γραφημάτων σε αρχεία 'csv', οπότε τελικά προέκυψε ένας πίνακας με τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα ανά σταθμό και στιγμή λήψης της μέτρησης.

Στη συνέχεια, για όλες τις διαθέσιμες δορυφορικές μετρήσεις εντοπίστηκαν και καταγράφηκαν οι μετρήσεις από τους επίγειους σταθμούς μέτρησης, με απώτερο σκοπό τη σύγκρισή τους με τις δορυφορικές μετρήσεις.

Η μονάδα μέτρησης των δορυφορικών μετρήσεων ήταν διαφορετική από τη μονάδα μέτρησης των δεδομένων ελέγχου, γι' αυτό αρχικά έπρεπε τα δεδομένα να αποκτήσουν κοινή μονάδα μέτρησης. Πραγματοποιήθηκε μετατροπή της μονάδας μέτρησης των δορυφορικών δεδομένων, που είναι mol/m^2 στην μονάδα μέτρησης των επίγειων μετρήσεων που είναι ppb . Η διαδικασία μετατροπής φαίνεται στο διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7: Μετατροπή μονάδας μέτρησης CO

Αφού τα μεγέθη μετατράπηκαν στην ίδια μονάδα μέτρησης, έγινε σύγκρισή τους χρησιμοποιώντας το λογιστικό φύλλο του WPS.

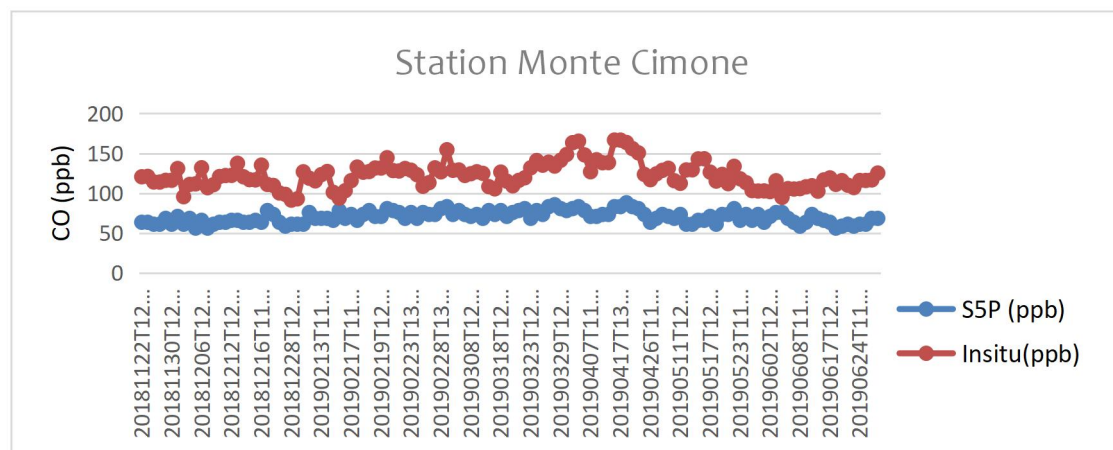
4.4.2 Ανάλυση δεδομένων και βελτίωση μοντέλων εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα (CO) ανά σταθμό

Η ανάλυση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε ανά σταθμό με τη μέθοδο παλινδρόμησης. Εξετάστηκαν γραμμικές και μη γραμμικές σχέσεις. Μετά την ανάλυση των δεδομένων, για κάθε σταθμό προέκυψε μια νέα συνάρτηση, η οποία παράγει βελτιωμένη εκτίμηση μονοξειδίου του άνθρακα στην περιοχή κάθε σταθμού.

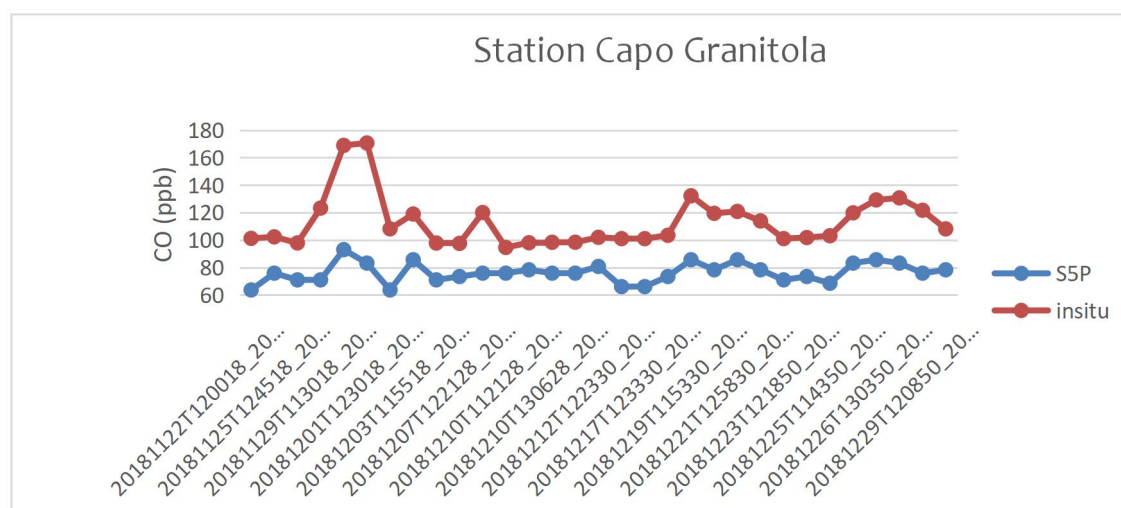
Ανάλυση δεδομένων

Αρχικά δημιουργήθηκε ένα γράφημα για κάθε σταθμό, όπου απεικονίζονταν τα δορυφορικά δεδομένα και τα δεδομένα ελέγχου. Το διάγραμμα 8 αναφέρεται στον σταθμό Monte Cimone, και το διάγραμμα 9 στον σταθμό Capo Granitola. Όπως μπορεί να παρατηρηθεί, τα δεδομένα από τον δορυφόρο Sentinel-5P υποεκτιμούσαν τη

συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα και στις δύο περιπτώσεις, όμως υπήρχε τάση συσχέτισης των δύο συνόλων δεδομένων.



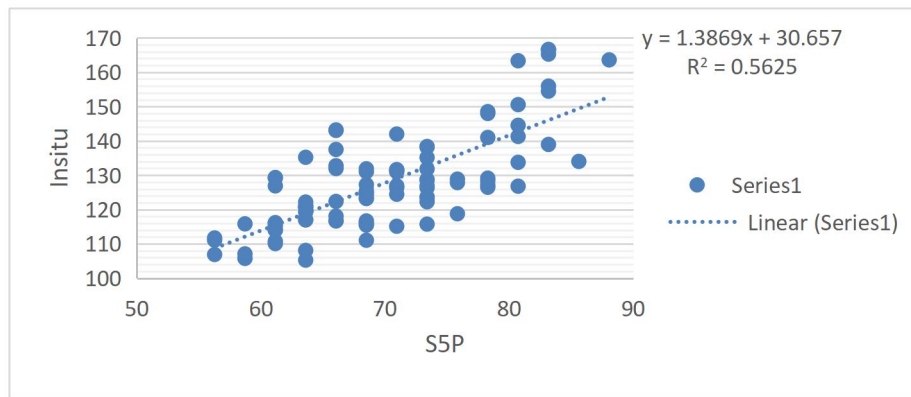
Διάγραμμα 8: Σύνολο δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων ελέγχου κατά τη διάρκεια του χρόνου, σταθμός Monte Cimone



Διάγραμμα 9: Σύνολο δορυφορικών δεδομένων και δεδομένων ελέγχου κατά τη διάρκεια του χρόνου, σταθμός Capo Granitola

Για το σύνολο των δεδομένων που αφορούσαν το σταθμό Monte Cimone, η τιμή R^2 του απλού γραμμικού μοντέλου έφτανε μόλις 30%. Παρατηρώντας το διάγραμμα 8 που απεικονίζει το σύνολο των δεδομένων σε σχέση με τον χρόνο, φαινόταν ότι ενώ οι περισσότερες εγγραφές δεδομένων δορυφόρου και δεδομένων αναφοράς είχαν σταθερά μεγάλη απόκλιση, κάποιες εγγραφές είχαν ανάποδη συμπεριφορά. Με στόχο τη διαγραφή των εγγραφών που θεωρούνταν λάθος, ορίστηκε ένα κατώφλι διαφορών μεταξύ των εγγραφών που αφορούσαν την ίδια χρονική στιγμή. Έτσι ως ορθές εγγραφές ορίστηκαν όσες οι διαφορές μεταξύ δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων ήταν μεγαλύτερη από 40 ppb.

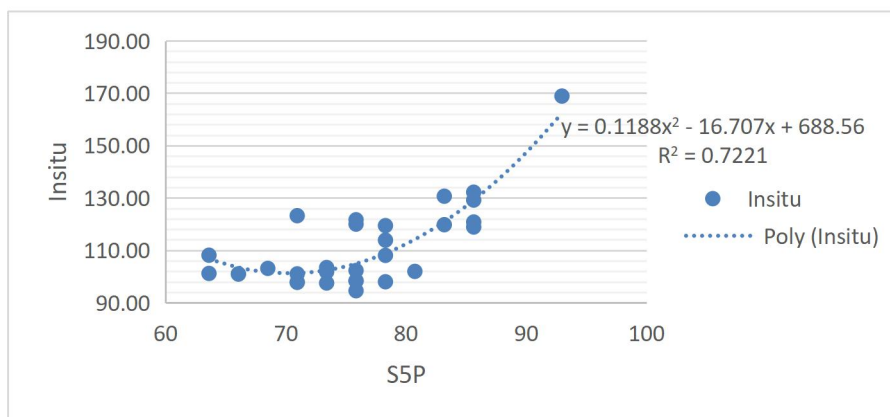
Στον έλεγχο συσχέτισης του νέου συνόλου δεδομένων, στο απλό γραμμικό μοντέλο, η τιμή R^2 , έφτασε 56% (διάγραμμα 10), ενώ με χρήση μη γραμμικού μοντέλου συσχέτισης, η τιμή R^2 βελτιώθηκε φτάνοντας 58%. Η πολυωνυμική συνάρτηση που περιγράφει τη σχέση είναι η ακόλουθη: $y = 0.0273x^2 - 2.5487x + 170.63$, όπου x , y δορυφορικές και επίγειες μετρήσεις αντίστοιχα.



Διάγραμμα 10: Γραμμική συσχέτιση δεδομένων Sentinel-5P και δεδομένων ελέγχου που αφορούν το μονοξείδιο του άνθρακα στον σταθμό Monte Cimone

Παρόμοια διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα δεδομένα του σταθμού Capo Granitola. Σε αυτή την περίπτωση, για την απομάκρυνση των λανθασμένων εγγραφών χρησιμοποιήθηκε ως κατώφλι διαφοράς η τιμή 80 ppb. Όσες εγγραφές είχαν διαφορά μεγαλύτερη από 80 ppb, απομακρύνθηκαν.

Στο απλό γραμμικό μοντέλο, η τιμή R^2 έφτανε 45%. Μετά την εφαρμογή του κατωφλίου απομακρύνθηκε μια εγγραφή και η τιμή R^2 στο απλό γραμμικό μοντέλο έφταντε 50%. Μετά τις δοκιμές που έγιναν για συσχέτιση των δεδομένων με μη γραμμικά μοντέλα, το πολυώνυμο δευτέρου βαθμού $y = 0.1188x^2 - 16.707x + 688.56$ φάνηκε να περιγράφει καλύτερα τη σχέση μεταξύ δορυφορικών και επίγειων μετρήσεων. Η τιμή R^2 της πολυωνυμικής συνάρτησης δευτέρου βαθμού, έφτασε 72%.



Διάγραμμα 11: Πολυώνυμο δευτέρου βαθμού που συσχετίζει τα δορυφορικά δεδομένα με τα δεδομένα ελέγχου του σταθμού Capo Granitola.

Εφαρμογή μοντέλων

Οι εξισώσεις δευτέρου βαθμού που περιγράφουν τη σχέση επίγειων και δορυφορικών μετρήσεων, εφαρμόστηκαν σε μεμονωμένες εικόνες μονοξειδίου του άνθρακα του δορυφόρου Sentinel-5P. Η διαδικασία πραγματοποιήθηκε διαδικτυακά στην πλατφόρμα 'Google Earth Engine', μέσω κώδικα σε γλώσσα 'JavaScript'.

5 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται αποτελέσματα συσχετίσεων μεταξύ συνόλων δεδομένων, καθώς και παραδείγματα από παράγωγα προϊόντα των μοντέλων που προέκυψαν. Αρχικά παρατίθενται οι συσχετίσεις μεταξύ τηλεπισκοπικών δεικτών από τα δεδομένα 'ECOSTRESS' με τα δεδομένα ελέγχου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της εφαρμογής των βελτιωμένων μοντέλων εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα από δορυφορικά δεδομένα 'Sentinel-5P'.

5.1 Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα

Στην παράγραφο που ακολουθεί παρουσιάζονται οι συσχετίσεις που προέκυψαν μεταξύ των επίγειων δεδομένων από 4 σταθμούς παρακολούθησης ποιότητας της ατμόσφαιρας (δεδομένα ελέγχου) σε σχέση με τα δεδομένα που προέκυψαν από τις θερμικές εικόνες του διαστημικού σταθμού ISS. Τα δεδομένα αφορούσαν τις συγκεντρώσεις μεθανίου, μονοξειδίου και διοξειδίου του άνθρακα.

Για τις 3 παραμέτρους που μελετήθηκαν, τα μοντέλα συσχετίσεων που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτά της απλής γραμμικής παλινδρόμησης, και τα μη γραμμικά μοντέλα της εκθετικής και λογαριθμικής παλινδρόμησης. Τα επίγεια και τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αφορούσαν τις ίδιες χρονικές στιγμές λήψης.

Λόγω της ποικιλομορφίας που είχαν οι σταθμοί σχετικά με το ανάγλυφο και την εδαφική κάλυψη των περιοχών που βρίσκονται, αρχικά κάθε σταθμός μελετήθηκε ξεχωριστά. Στη συνέχεια μελετήθηκαν συνδυαστικά οι σταθμοί που βρίσκονται στο νότιο τμήμα της Ιταλίας. Οι δοκιμές που αφορούν συνδιασμούς σταθμών έγιναν μόνο για τα δεδομένα που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής καναλιών. Για την εξαγωγή πιο συγκεκριμένων συμπερασμάτων όσον αφορά τις συσχετίσεις που προέκυψαν, γίνεται περαιτέρω διαχωρισμός των δεδομένων. Στον πίνακα 19 καταγράφονται οι διαχωρισμοί που υλοποιήθηκαν.

Σταθμός	In situ τιμές CH ₄	In situ τιμές CO	In situ τιμές CO ₂
Σταθμός Lecce	(n=14, 1941-2002)	(n=16, 121 - 215) (n=13, 125- 180)	(n=20 ,394 - 471) (n=19, 394 - 450)
Σταθμός Lamezia Terme	(n=25, 1939 - 2260) (n=14, 1939 - 2000) (n=16, 1939- 2200)	(n=32, 80 - 310) (n=18, 100- 150)	(n=28 , 400 - 450) (n=20 , 400 - 425) (n=15, 400 - 425)
Σταθμός Monte Cimone	(n=30, 1911 - 1962) (n=13, 1935 - 1962) (n=18, 1911- 1935) (n=22, 1920 - 1962) (n=17, 1925 - 1962) (n=14, 1930 - 1955)	(n=39, 80 -155) (n=25 , 100 -130)	(n=40, 395-425) (n=20, 395-405) (n=20, 410-425)
Σταθμός Capo Granitola	(n=13, 1930 - 2025) (n=11, 1935 - 1970)	(n=17, 90 - 181) (n=9, 100 - 135)	(n=18, 393- 435) (n=16, 400 -435) (n=15, 400 - 415)

Σταθμοί Capo Granitola και Lamezia Terme	n=27, 1935-2035		n=27, 400-420
Σταθμοί Lecce και Capo Granitola	n=14, 1940-1970	n=28, 100 - 200	n=21, 400-416
Σταθμοί Lecce και Lamezia Terme	n=34, 1930-2035 n=22, 1940-1995	n=22, 125 - 200	n=24, 400-420
Σταθμοί Lecce, Lamezia Terme και Capo Granitola	n=37, 1940-2035 n=27, 1940-1980		n=33, 400-425

Πίνακας 19: Διαχωρισμός δεδομένων

5.1.1 Μεθάνιο

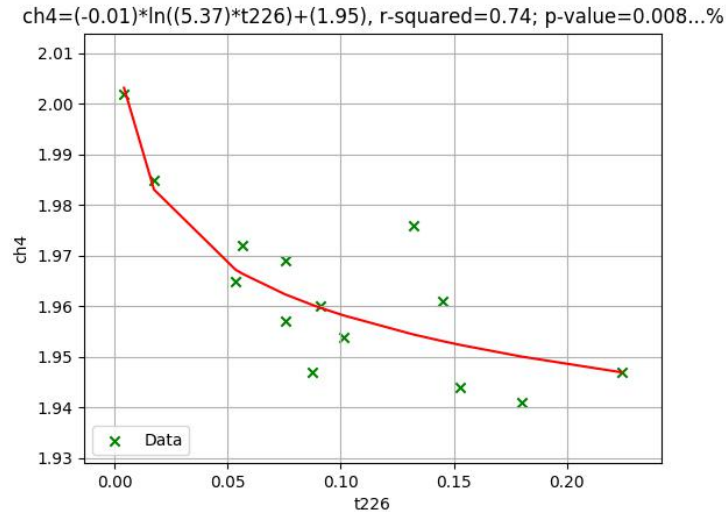
Σταθμός LECCE

- Για το σύνολο των δεδομένων (14 εγγραφές, 1941 ppb-2002 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Τα δεδομένα του σταθμού Lecce, παρουσίασαν συσχέτιση με αρκετούς δείκτες και στα τρία μοντέλα συσχέτισης. Προέκυψαν 38 συσχετίσεις με $R^2 > 50\%$. Στον πίνακα 20 καταγράφονται οι δείκτες με τιμές $R^2 \geq 65\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.66	0.04	s215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB5)
log	0.67	0.04	i207=ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)
log	0.67	0.03	s209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB5)
log	0.68	0.03	s218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB5)
log	0.72	0.01	e203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB1)
log	0.72	0.01	k215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB3)
log	0.73	0.01	d117=ln(EB2/EB5)
log	0.73	0.01	d7=(abs(EB2-EB5))/(EB2+EB5)
log	0.73	0.01	t218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB4)
log	0.74	0.01	e210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB1)
log	0.74	0.01	t226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB4)

Πίνακας 20: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, χωρίς συντελεστή εκπομπής



- Για το σύνολο των δεδομένων (14 εγγραφές, 1941 prb-2002 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Οι ίδιοι δείκτες υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή εκπομπής των καναλιών των εικόνων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι καλύτερες συσχετίσεις που προέκυψαν μεταξύ δεικτών και δεδομένων ελέγχου. Προέκυψαν 35 συσχετίσεις με $R^2 > 50\%$. Στον πίνακα 21 καταγράφονται οι δείκτες με τιμές $R^2 \geq 65\%$.

Συγκριτικά με την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής, περισσότεροι δείκτες είχαν μεγαλύτερη τιμή R^2 , ωστόσο η υψηλότερη τιμή $R^2 = 74\%$ καταγράφηκε σε δείκτη που υπολογίστηκε χωρίς συντελεστή εκπομπής έναντι 72% του δείκτη υπολογισμένου με συντελεστή εκπομπής.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.65	0.05	e215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)
log	0.66	0.04	s224=ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)
log	0.67	0.04	i207=ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)
log	0.68	0.03	s218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB5)
log	0.70	0.02	e203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB1)
log	0.70	0.02	k215=ln((EB2+EB3-EB5)/EB3)
log	0.71	0.01	t218=ln((EB2+EB4-EB5)/EB4)
log	0.72	0.01	d117=ln(EB2/EB5)
log	0.72	0.01	d7=(abs(EB2-EB5))/(EB2+EB5)
log	0.72	0.01	e210=ln((EB1+EB5-EB2)/EB1)
log	0.72	0.01	t226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB4)

Πίνακας 21: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, με συντελεστή εκπομπής

Σταθμός MONTE CIMONE

- Για το σύνολο των δεδομένων (30 εγγραφές, 1911 prb - 1962 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για τον σταθμό Monte Cimone, για το σύνολο των δεδομένων δεν παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση. Οι μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 33%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (13 εγγραφές, 1935 prb - 1962 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Η δεύτερη δοκιμή πραγματοποιήθηκε σε μέρος του συνόλου των δεδομένων. Και σε αυτή την περίπτωση δεν παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ δεδομένων ελέγχου μεθανίου και δεικτών. Η τιμή R^2 δεν ξεπέρασε το 40%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (18 εγγραφές, 1911 prb - 1935 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στην τρίτη δοκιμή που εφαρμόστηκε, παρατηρήθηκε αυξημένη συσχέτιση σε σχέση με προηγούμενες δοκιμές. Η τιμή R^2 , δεν ξεπέρασε το 50%, έφτασε όμως το 46%. Στον πίνακα 22, καταγράφεται ο δείκτης που παρουσίασε αυτή την τιμή.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.46	0.20	$i_{207} = \ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$
lin	0.46	0.20	$i_{207} = \ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$

Πίνακας 22: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (22 εγγραφές, 1920 prb - 1962 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Η τέταρτη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε επίσης σε μέρος του συνόλου των δεδομένων δεν οδήγησε σε ψηλότερη συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης μεθανίου και δεικτών. Η τιμή R^2 δεν ξεπέρασε το 25%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (17 εγγραφές, 1925 prb - 1962 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

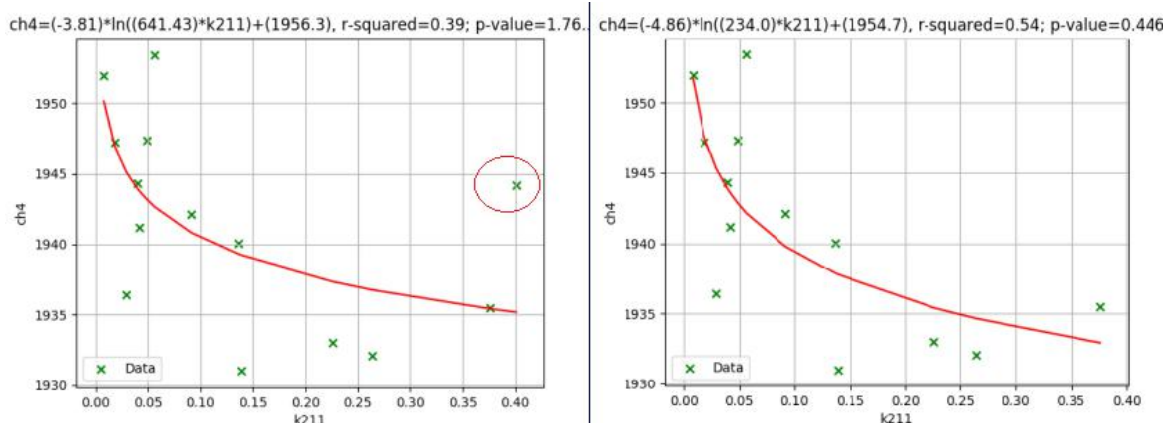
Η δοκιμή που αφορούσε το διάστημα 1925 prb έως 1962 prb, δεν οδήγησε σε μεγάλη αύξηση των τιμών R^2 . Ο δείκτης i_{207} είχε $R^2 = 34\%$, με $p\text{-value} < 2\%$, στο εκθετικό και στο γραμμικό μοντέλο συσχέτισης.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (14 εγγραφές, 1930 prb - 1955 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Η τελευταία δοκιμή αφορούσε το διάστημα συγκέντρωσης 1930 prb έως 1955 prb. Συνολικά παρατηρήθηκαν ψηλότερες συσχετίσεις, ωστόσο κανένας δείκτης δεν είχε τιμή R^2 που να ξεπερνά το 50%. Η πιο ψηλή τιμή αφορούσε τον δείκτη k_{211} και έφτασε 39%. Ο ίδιος δείκτης μελετήθηκε ξανά αφαιρώντας από το σύνολο δεδομένων το στοιχείο που όπως φαίνεται στο διάγραμμα 13 δεν ανήκε στο σύνολο των δεδομένων. Η τιμή R^2 έφτασε 54%. Στον πίνακα 23 καταγράφονται τα στοιχεία της συσχέτισης.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	n	Δείκτης
log	0.39	1.76	14	$k_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_3)$
log	0.54	0.45	13	$k_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_3)$

Πίνακας 23: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 13: Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη k_{211} , αριστερά για 14 εγγραφές, δεξιά για 13 εγγραφές

- Για το σύνολο των δεδομένων (30 εγγραφές, 1911 prb - 1962 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Για τον σταθμό Monte Cimone, για το σύνολο των δεδομένων δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφοροποίηση στο αποτέλεσμα των συσχετίσεων. Οι μέγιστη τιμή R^2 έφτασε και σε αυτή την περίπτωση μόλις το 32%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (13 εγγραφές, 1935 prb - 1962 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση τα αποτελέσματα δεν βελτιώθηκαν με τη χρήση του συντελεστή εκπομπής. Η τιμή R^2 , δεν ξεπέρασε το 40%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (18 εγγραφές, 1911 prb - 1935 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Σε αυτή την περίπτωση υπήρξε βελτίωση σε σχέση με την αντίστοιχη δοκιμή που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Τα δεδομένα είχαν τάση συσχέτισης. Η τιμή R^2 έφτασε το 50%. Στον πίνακα 24, παρουσιάζονται συσχετίσεις με τιμή $R^2 = 50\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.11	$d_9=(\text{abs}(EB_3-EB_5))/(EB_3+EB_5)$
exp	0.50	0.11	$d_{119}=\ln(EB_3/EB_5)$
exp	0.50	0.11	$k_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_3)$
exp	0.50	0.10	$t_{227}=\ln((EB_4+EB_5-EB_3)/EB_4)$
lin	0.50	0.11	$d_9=(\text{abs}(EB_3-EB_5))/(EB_3+EB_5)$

lin	0.50	0.11	$d119=\ln(EB3/EB5)$
lin	0.50	0.11	$k211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$
lin	0.50	0.10	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$
log	0.50	0.10	$k207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
log	0.50	0.10	$t213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$

Πίνακας 24: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, με συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (22 εγγραφές, 1920 ppb - 1962 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

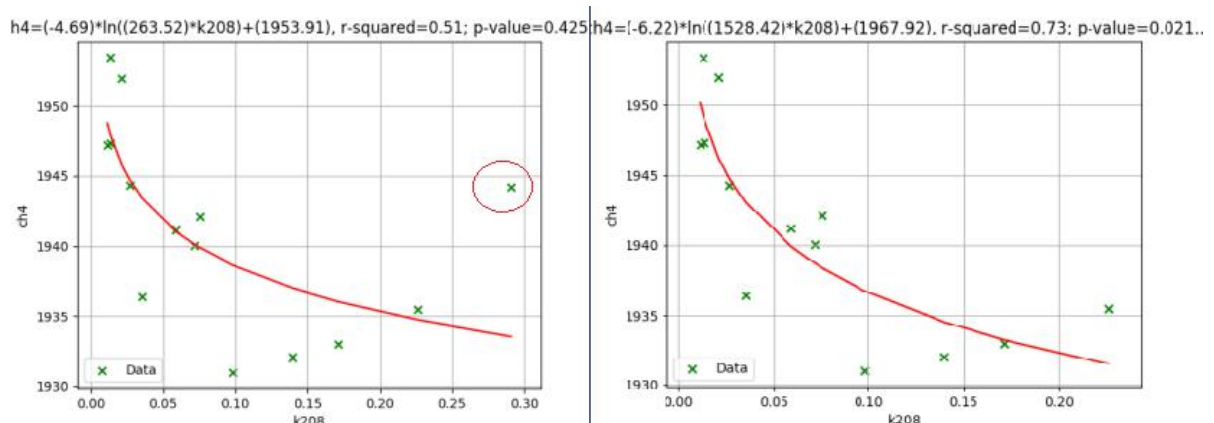
Σε αυτή την περίπτωση τα αποτελέσματα των 2 δοκιμών κυμάνθηκαν στα ίδια επίπεδα. Δεν παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης μεθανίου και δεικτών. Η τιμή R^2 δεν ξεπέρασε το 25%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (17 εγγραφές, 1925 ppb - 1962 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Σε αυτό το διάστημα δεν παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση μεταξύ συγκέντρωσης μεθανίου και δεικτών, επίσης συγκριτικά με τα αποτελέσματα στο αντίστοιχο διάστημα χωρίς την χρήση του συντελεστή εκπομπής, παρατηρήθηκε μείωση στις τιμές R^2 των συσχετίσεων. Η μέγιστη τιμή έφτασε μόλις το 28%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (14 εγγραφές, 1930 ppb - 1955 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα συγκέντρωσης 1930 ppb έως 1955 ppb, παρατηρήθηκε ότι τα δεδομένα ελέγχου και ο δείκτης k208 τείνει προς συσχέτιση με το λογαριθμικό μοντέλο. Η τιμή R^2 έφτασε 51%. Η συσχέτιση εξετάστηκε ξανά αφαιρώντας το στοιχείο που φαινόταν να είναι εκτός του πλήθους (διάγραμμα 14) . Η τιμή R^2 του ίδιου δείκτη, για το ίδιο μοντέλο συσχέτισης έφτασε 73%.



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα συσχέτισης δείκτη k208, αριστερά για 14 εγγραφές, δεξιά για 13 εγγραφές

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	n	Δείκτης
log	0.51	0.43	14	$k_{208} = \ln((EB1+EB4-EB3)/EB3)$
log	0.73	0.02	13	$k_{208} = \ln((EB1+EB4-EB3)/EB3)$

Πίνακας 25: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, με συντελεστή εκπομπής

Σταθμός CAPO GRANITOLA

- Για το σύνολο των δεδομένων (13 εγγραφές, 1930 ppb - 2025 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στο σύνολο των δεδομένων του σταθμού Capo Granitola δεν υπήρξε κάποιος δείκτης με τιμή R^2 μεγαλύτερη από 50%, ωστόσο κάποιο δείκτες πλησίασαν αυτή την τιμή συσχέτισης. Στον πίνακα 26, καταγράφηκαν οι δείκτες με τις ψηλότερες τιμές.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.40	1.96	$k_{204} = \ln((EB1+EB3-EB2)/EB3)$
log	0.41	1.83	$k_{213} = \ln((EB2+EB3-EB1)/EB3)$
log	0.48	0.86	$i_{204} = \ln((EB1+EB3-EB2)/EB2)$

Πίνακας 26: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (11 εγγραφές, 1935 ppb - 1970 ppb) - χωρίς συντελεστή συσχέτισης

Στη δοκιμή που έγινε αποκλείστηκαν οι ακραίες επίγειες τιμές συγκέντρωσης μεθανίου αυτού του σταθμού. Υπήρξαν αρκετοί δείκτες με τιμή R^2 που ξεπερνά το 50%. Στον πίνακα 27 αναγράφονται οι συσχετίσεις με $R^2 = 61\%$, που είναι η ψηλότερη συσχέτιση που παρατηρήθηκε για αυτό το σύνολο δεδομένων.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.61	0.48	$dd_{151} = \exp((EB1+EB2)/EB3)$
lin	0.61	0.48	$dd_{151} = \exp((EB1+EB2)/EB3)$
log	0.61	0.48	$i_{01} = (EB1+EB2-EB3)/EB2$
exp	0.61	0.48	$i_{113} = \exp((EB2+EB3-EB1)/EB2)$
lin	0.61	0.48	$i_{113} = \exp((EB2+EB3-EB1)/EB2)$
exp	0.61	0.48	$i_{201} = \ln((EB1+EB2-EB3)/EB2)$
lin	0.61	0.48	$i_{201} = \ln((EB1+EB2-EB3)/EB2)$
exp	0.61	0.48	$k_{101} = \exp((EB1+EB2-EB3)/EB3)$
lin	0.61	0.48	$k_{101} = \exp((EB1+EB2-EB3)/EB3)$

Πίνακας 27: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Για το σύνολο των δεδομένων (13 εγγραφές, 1930 ppb - 2025 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Σε αντίθεση με τη δοκιμή για τα δεδομένα που στους δείκτες δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών, σε αυτή την περίπτωση, 39 συσχετίσεις παρουσίασαν $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα 28 καταγράφηκαν οι περιπτώσεις με $R^2 \geq 54\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.54	0.44	dd211= $\ln(EB4/(EB1+EB4+EB5))$
exp	0.54	0.41	dd64= $(EB1+EB5)/EB4$
exp	0.54	0.41	t12= $(EB1+EB5-EB4)/EB4$
lin	0.54	0.42	dd64= $(EB1+EB5)/EB4$
lin	0.54	0.42	t12= $(EB1+EB5-EB4)/EB4$
log	0.54	0.42	dd164= $\exp((EB1+EB5)/EB4)$
log	0.54	0.42	t112= $\exp((EB1+EB5-EB4)/EB4)$
exp	0.56	0.33	dd164= $\exp((EB1+EB5)/EB4)$
exp	0.56	0.33	t112= $\exp((EB1+EB5-EB4)/EB4)$
lin	0.56	0.35	dd164= $\exp((EB1+EB5)/EB4)$
lin	0.56	0.35	t112= $\exp((EB1+EB5-EB4)/EB4)$
log	0.57	0.27	t221= $\ln((EB2+EB5-EB4)/EB4)$
log	0.61	0.17	t212= $\ln((EB1+EB5-EB4)/EB4)$

Πίνακας 28: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, με συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (11 εγγραφές, 1935 ppb - 1970 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Στην δοκιμή όπου αποκλείστηκαν οι ακραίες τιμές συγκέντρωσης μεθανίου, 245 δείκτες έχουν $R^2 \geq 50\%$, όπως και στην περίπτωση που οι δείκτες υπολογίστηκαν χωρίς τον συντελεστή εκπομπής. Στον πίνακα 29 παρουσιάζονται τα στοιχεία των συσχετίσεων με $R^2 = 61\%$, που και σε αυτή την περίπτωση ήταν η ψηλότερη συσχέτιση για αυτά τα δεδομένα.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.61	0.48	dd151= $\exp((EB1+EB2)/EB3)$
lin	0.61	0.48	dd151= $\exp((EB1+EB2)/EB3)$
log	0.61	0.48	io1= $(EB1+EB2-EB3)/EB2$
exp	0.61	0.48	i113= $\exp((EB2+EB3-EB1)/EB2)$
lin	0.61	0.48	i113= $\exp((EB2+EB3-EB1)/EB2)$

exp	0.61	0.48	$i201=\ln((EB1+EB2-EB3)/EB2)$
lin	0.61	0.48	$i201=\ln((EB1+EB2-EB3)/EB2)$
exp	0.61	0.48	$k101=\exp((EB1+EB2-EB3)/EB3)$
lin	0.61	0.48	$k101=\exp((EB1+EB2-EB3)/EB3)$

Πίνακας 29: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, με συντελεστή εκπομπής

Σταθμός LAMEZIA TERME

- Για το σύνολο των δεδομένων (25 εγγραφές, 1939 ppb - 2260 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για το σύνολο των δεδομένων του σταθμού Lamezia Terme, δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση μεταξύ δεικτών και επίγειων μετρήσεων. Αυτό όμως δεν ήταν παράλογο, επειδή σε αυτό τον σταθμό το εύρος της συγκέντρωσης μεθανίου ήταν πολύ μεγάλο.

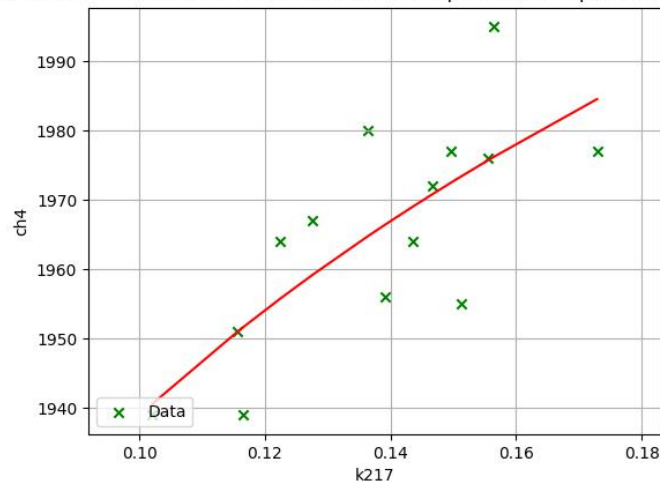
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (14 εγγραφές, 1939 ppb - 2000 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα συγκέντρωσης μεθανίου 1939 ppb - 2000 ppb, στο σταθμό Lamezia Terme, υπήρχε τάση συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων και δεικτών. 175 δοκιμές δεικτών και με τα 3 μοντέλα συσχέτισης, έδωσαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα 30 καταγράφονται οι δείκτες με $R^2 > 55\%$. Στα διαγράμματα 15 και 16 απεικονίζονται οι λογαριθμικές συσχετίσεις των δεικτών k217 και k216 αντίστοιχα.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.56	0.22	$k116=\exp((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
exp	0.56	0.22	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
lin	0.56	0.22	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
log	0.56	0.21	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
exp	0.56	0.21	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
lin	0.56	0.21	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
exp	0.56	0.22	$t104=\exp((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
lin	0.56	0.22	$t104=\exp((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
log	0.56	0.20	$t204=\ln((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
log	0.57	0.18	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
log	0.57	0.18	$k217=\ln((EB2+EB4-EB3)/EB3)$

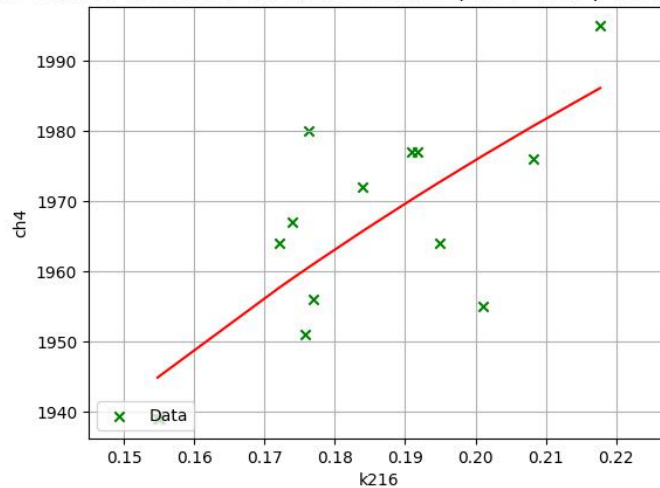
Πίνακας 30: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, χωρίς συντελεστή εκπομπής

$h4=(83.42)*\ln((987.61)*k217)+(1555.79)$, $r\text{-squared}=0.57$; $p\text{-value}=0.179..$



Διάγραμμα 15: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k217

$h4=(120.99)*\ln((647.22)*k216)+(1387.47)$, $r\text{-squared}=0.57$; $p\text{-value}=0.179..$



Διάγραμμα 16: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k216

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (16 εγγραφές, 1939 ppb - 2200 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

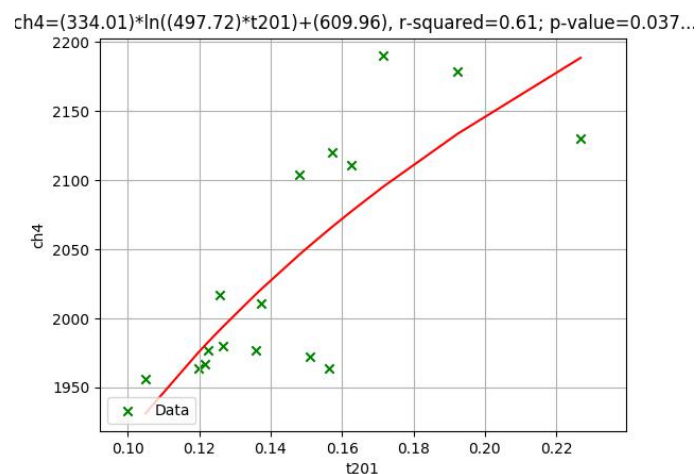
Σε αυτό το διάστημα συγκέντρωσης, η τιμή R^2 έφτασε 61%. Συνολικά υπήρχαν 244 δείκτες και για τα 3 μοντέλα συσχέτισης που η τιμή R^2 ξεπερνούσε το 50%. Στον πίνακα 31 καταγράφονται οι δείκτες με $R^2 = 61\%$, που ήταν και η ψηλότερη τιμή που παρατηρήθηκε. Τα διαγράμματα 17 και 18 αναφέρονται στις συσχετίσεις των δεικτών t201 και s17 αντίστοιχα.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.61	0.04	$s117=\exp((EB2+EB4-EB3)/EB5)$
lin	0.61	0.04	$s117=\exp((EB2+EB4-EB3)/EB5)$
exp	0.61	0.04	$s120=\exp((EB2+EB5-EB3)/EB5)$
lin	0.61	0.04	$s120=\exp((EB2+EB5-EB3)/EB5)$

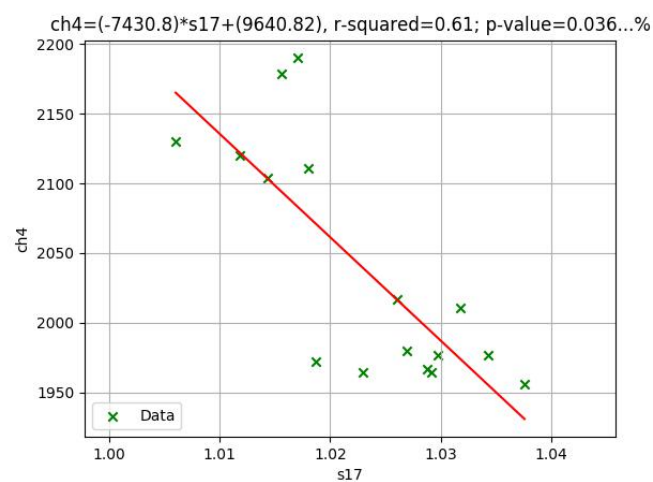
exp	0.61	0.04	$s_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5)$
lin	0.61	0.04	$s_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5)$
exp	0.61	0.04	$s_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5$
lin	0.61	0.04	$s_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5$
exp	0.61	0.04	$s_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5$
lin	0.61	0.04	$s_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5$
exp	0.61	0.04	$s_{217}=\ln((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5)$
lin	0.61	0.04	$s_{217}=\ln((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5)$
exp	0.61	0.04	$s_{220}=\ln((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5)$
lin	0.61	0.04	$s_{220}=\ln((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5)$
exp	0.61	0.04	$s_{223}=\ln((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5)$
lin	0.61	0.04	$s_{223}=\ln((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5)$
exp	0.61	0.04	$s_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5$
lin	0.61	0.04	$s_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5$
exp	0.61	0.04	$t_{117}=\exp((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{117}=\exp((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{120}=\exp((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4$
exp	0.61	0.04	$t_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4$
exp	0.61	0.04	$t_{217}=\ln((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{220}=\ln((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{223}=\ln((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4)$
exp	0.61	0.04	$t_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4$
lin	0.61	0.04	$t_{120}=\exp((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4$
lin	0.61	0.04	$t_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4$
lin	0.61	0.04	$t_{217}=\ln((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{220}=\ln((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{223}=\ln((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4)$
lin	0.61	0.04	$t_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4$
log	0.61	0.04	$s_{117}=\exp((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5)$
log	0.61	0.04	$s_{120}=\exp((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5)$
log	0.61	0.04	$s_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5)$

log	0.61	0.04	$s_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_5$
log	0.61	0.04	$s_{201}=\ln((EB_1+EB_2-EB_3)/EB_5)$
log	0.61	0.04	$s_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_5$
log	0.61	0.04	$s_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_5$
log	0.61	0.04	$t_{117}=\exp((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4)$
log	0.61	0.04	$t_{120}=\exp((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4)$
log	0.61	0.04	$t_{123}=\exp((EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4)$
log	0.61	0.04	$t_{17}=(EB_2+EB_4-EB_3)/EB_4$
log	0.61	0.04	$t_{201}=\ln((EB_1+EB_2-EB_3)/EB_4)$
log	0.61	0.04	$t_{20}=(EB_2+EB_5-EB_3)/EB_4$
log	0.61	0.04	$t_{23}=(EB_3+EB_4-EB_2)/EB_4$

Πίνακας 31: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 17: : Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη t_{201} , χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 18: Γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη s_{17} , χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Για το σύνολο των δεδομένων (25 εγγραφές, 1939 ppb - 2260 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Όπως και στην περίπτωση χωρίς συντελεστή εκπομπής, για το σύνολο των δεδομένων του σταθμού Lamezia Terme, δεν παρατηρήθηκε συσχέτιση μεταξύ δεικτών και επίγειων μετρήσεων.

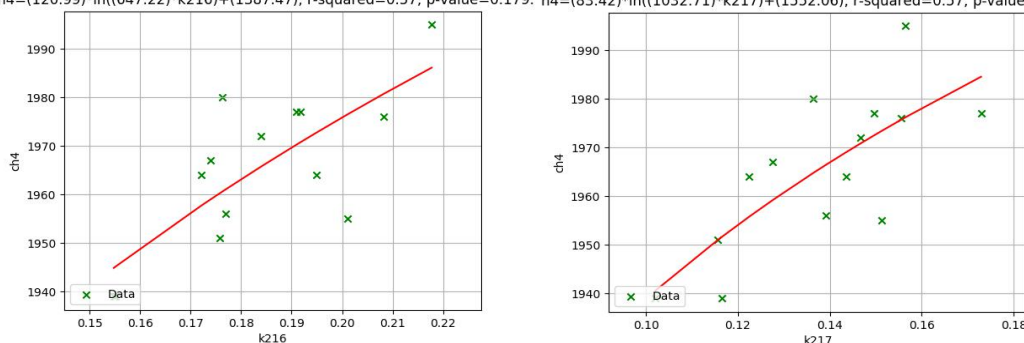
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (14 εγγραφές, 1939 ppb - 2000 ppb) - με συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα συγκέντρωσης μεθανίου 1939 ppb - 2000 ppb στο σταθμό Lamezia Terme, υπήρχε τάση συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων και δεικτών. 284 δοκιμές δεικτών, και με τα 3 μοντέλα συσχέτισης, έδωσαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα 32 καταγράφονται οι δείκτες με $R^2 > 55\%$. Οι δείκτες με την καλύτερη συσχέτιση ήταν ίδιοι με την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών. Στα διαγράμματα 19 και 20, παρουσιάζονται τα λογαριθμικά μοντέλα συσχέτισης των δεικτών k216 και k217 αντίστοιχα.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.56	0.22	$k116=\exp((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
exp	0.56	0.22	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
lin	0.56	0.22	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
log	0.56	0.21	$k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3$
exp	0.56	0.21	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
lin	0.56	0.21	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
exp	0.56	0.22	$t104=\exp((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
lin	0.56	0.22	$t104=\exp((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
log	0.56	0.20	$t204=\ln((EB1+EB3-EB2)/EB4)$
log	0.57	0.18	$k216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)$
log	0.57	0.18	$k217=\ln((EB2+EB4-EB3)/EB3)$

Πίνακας 32: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, με συντελεστή εκπομπής

$h4=(120.99)*\ln((647.22)*k216)+(1387.47)$, r-squared=0.57; p-value=0.179. $h4=(83.42)*\ln((1032.71)*k217)+(1552.06)$, r-squared=0.57; p-value=0.179.



Διάγραμμα 19, 20: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k216 και k217 αντίστοιχα, με συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (16 εγγραφές, 1939 prb - 2200 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Σε αυτό το διάστημα συγκέντρωσης, η τιμή R^2 έφτασε 66%. Συνολικά υπήρχαν 190 δείκτες και για τα 3 μοντέλα συσχέτισης που η τιμή R^2 ξεπέρασε το 50%. Στον πίνακα 33 καταγράφονται οι δείκτες με $R^2 \geq 62\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.62	0.03	t221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB4)
lin	0.64	0.02	dd167=exp((EB2+EB5)/EB4)
log	0.64	0.02	dd167=exp((EB2+EB5)/EB4)
lin	0.64	0.02	dd67=(EB2+EB5)/EB4
lin	0.64	0.02	t121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB4)
log	0.64	0.02	t121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB4)
lin	0.64	0.02	t21=(EB2+EB5-EB4)/EB4
lin	0.65	0.02	d167=exp(EB4/(EB2+EB5))
log	0.65	0.02	d167=exp(EB4/(EB2+EB5))
lin	0.65	0.02	d267=ln(EB4/(EB2+EB5))
log	0.65	0.02	d267=ln(EB4/(EB2+EB5))
lin	0.65	0.02	d67=EB4/(EB2+EB5)
exp	0.65	0.02	dd167=exp((EB2+EB5)/EB4)
lin	0.65	0.02	dd267=ln((EB2+EB5)/EB4)
log	0.65	0.02	dd267=ln((EB2+EB5)/EB4)
exp	0.65	0.01	dd67=(EB2+EB5)/EB4
log	0.65	0.02	dd67=(EB2+EB5)/EB4
exp	0.65	0.02	t121=exp((EB2+EB5-EB4)/EB4)
exp	0.65	0.01	t21=(EB2+EB5-EB4)/EB4
log	0.65	0.02	t21=(EB2+EB5-EB4)/EB4
lin	0.65	0.02	t221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB4)
exp	0.66	0.01	d167=exp(EB4/(EB2+EB5))
exp	0.66	0.01	d267=ln(EB4/(EB2+EB5))
exp	0.66	0.01	d67=EB4/(EB2+EB5)
exp	0.66	0.01	dd267=ln((EB2+EB5)/EB4)
exp	0.66	0.01	t221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB4)

Πίνακας 33: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, με συντελεστή εκπομπής

Σταθμοί CAPO GRANITOLA και LAMEZIA TERME

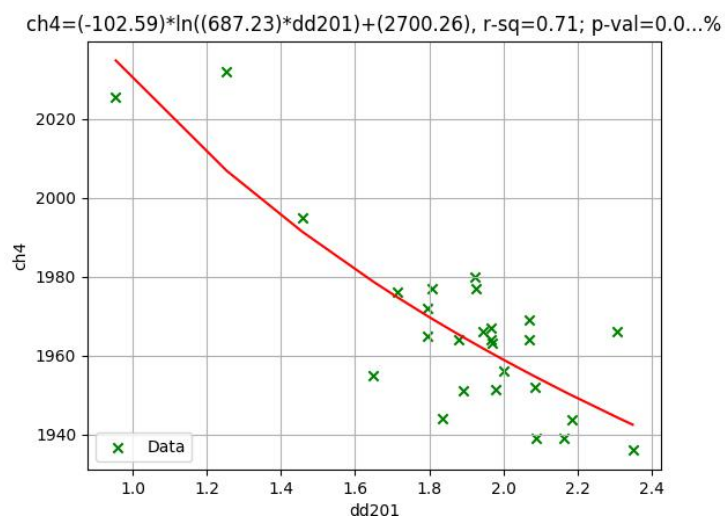
➤ Σύνολο δεδομένων (27 εγγραφές, 1935 ppb - 2035 ppb)

Τα επίγεια δεδομένα των σταθμών Capo Granitola και Lamezia Terme, παρουσίασαν τάση συσχέτισης με τηλεπισκοπικούς δείκτες. 765 δοκιμές είχαν τιμή $R^2 \geq 60\%$. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 71 %. Στο διάγραμμα 21 παρουσιάζεται το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη dd201. Ήταν αξιοσημείωτο το γεγονός ότι μεμονωμένα κανάλια είχαν ψηλή τιμή R^2 . Τα κανάλια αυτά ήταν τα b1, b3, b4, b5. Τα διαγράμματα συσχέτισής τους παρουσιάζονται στην εικόνα 11. Στον πίνακα 34 αναγράφονται τα στοιχεία των καλύτερων συσχετίσεων που προέκυψαν.

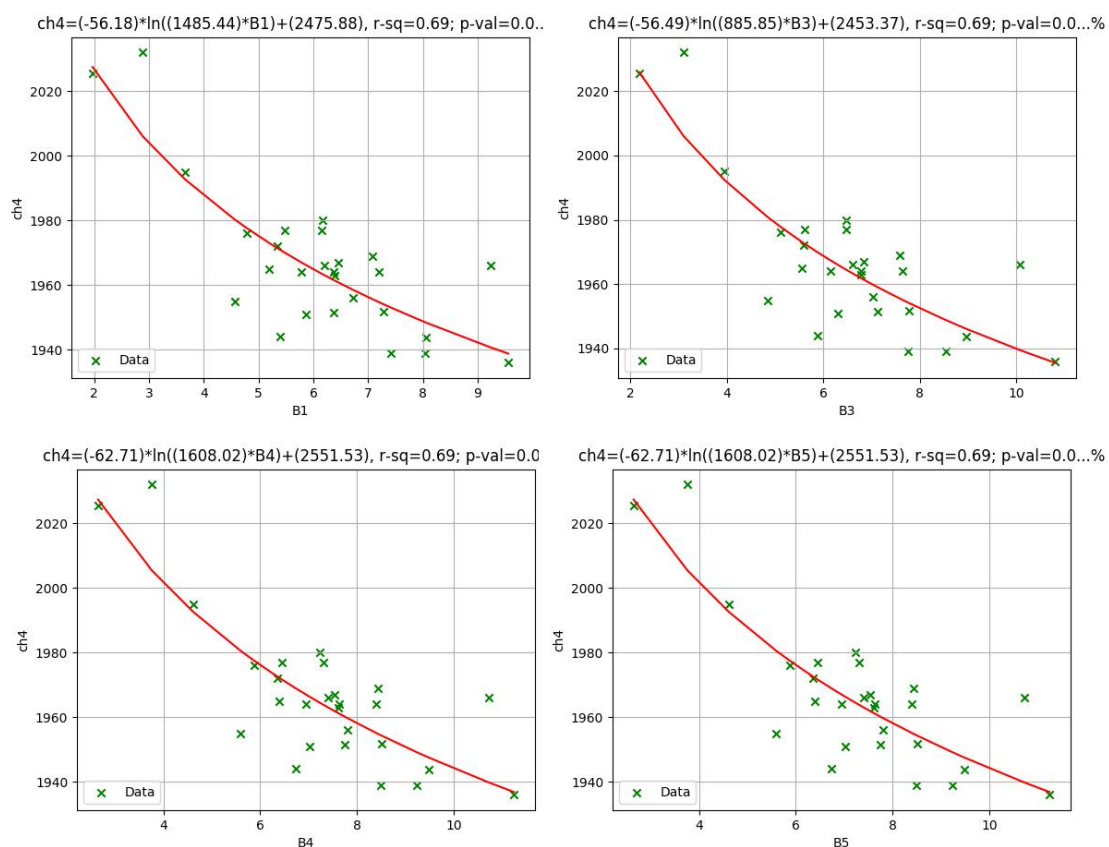
Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.69	0.00	EB1
log	0.69	0.00	EB3
log	0.69	0.00	EB4
log	0.69	0.00	EB5
log	0.69	0.00	dd01=(EB3+EB4+EB5)/3
log	0.69	0.00	dd02=(EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5
log	0.69	0.00	dd03=EB3+EB4+EB5
exp	0.69	0.00	dd201=ln((EB3+EB4+EB5)/3)
lin	0.69	0.00	dd201=ln((EB3+EB4+EB5)/3)
exp	0.69	0.00	dd202=ln((EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5)
lin	0.69	0.00	dd202=ln((EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5)
exp	0.69	0.00	dd203=ln(EB3+EB4+EB5)
lin	0.69	0.00	dd203=ln(EB3+EB4+EB5)
exp	0.69	0.00	i205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB2)
log	0.69	0.00	k116=exp((EB2+EB4-EB1)/EB3)
exp	0.69	0.00	k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3
lin	0.69	0.00	k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3
log	0.69	0.00	k16=(EB2+EB4-EB1)/EB3
exp	0.69	0.00	k216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)
lin	0.69	0.00	k216=ln((EB2+EB4-EB1)/EB3)
log	0.69	0.00	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
exp	0.69	0.00	s204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB5)
lin	0.69	0.00	s204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB5)
log	0.70	0.00	dd202=ln((EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5)
log	0.70	0.00	dd203=ln(EB3+EB4+EB5)

exp	0.70	0.00	$k_{116}=\exp((EB_2+EB_4-EB_1)/EB_3)$
lin	0.70	0.00	$k_{116}=\exp((EB_2+EB_4-EB_1)/EB_3)$
log	0.71	0.00	$dd_{201}=\ln((EB_3+EB_4+EB_5)/3)$

Πίνακας 34: Συσχετίσεις σταθμών Capo Granitola και Lamezia Terme



Διάγραμμα 21: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη dd201



Εικόνα 11: Διαγράμματα συσχέτισης συγκέντρωσης μεθανίου με τις τιμές καναλιών B1, B3, B4 και B5

Σταθμοί LECCE και CAPO GRANITOLA

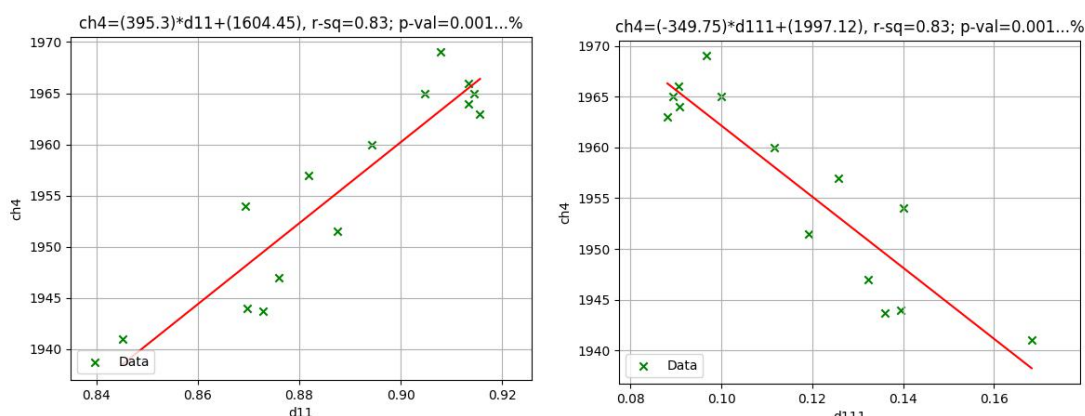
➤ Μέρος του συνόλου δεδομένων (14 εγγραφές, 1940 prb - 1970 prb)

Τα περισσότερα δεδομένα αυτών των σταθμών ανήκαν στο διάστημα συγκέντρωσης 1940 prb - 1970 prb. Περισσότερες από 1000 συσχετίσεις είχαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. 36 δείκτες παρουσίασαν τη μέγιστη τιμή R^2 και συσχετίστηκαν γραμμικά με τα επίγεια δεδομένα (πίνακας 35). Στην εικόνα 12 παρουσιάζονται τα γραμμικά διαγράμματα συσχέτισης των δεικτών d11 και d111 σε σχέση με τα επίγεια δεδομένα ελέγχου. Οι δύο δείκτες προέκυψαν από τα κανάλια b1 και b2.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
lin	0.83	0.00	d1=(abs(EB1-EB2))/(EB1+EB2)
lin	0.83	0.00	d11=EB1/EB2
lin	0.83	0.00	d111=ln(EB1/EB2)
lin	0.83	0.00	d131=exp(EB1/(EB1+EB2))
lin	0.83	0.00	d135=exp(EB1/(EB2+EB3))
lin	0.83	0.00	d141=exp(EB2/(EB1+EB2))
lin	0.83	0.00	d190=exp(EB1/(EB1+EB2+EB3))
lin	0.83	0.00	d21=exp(EB1/EB2)
lin	0.83	0.00	d231=ln(EB1/(EB1+EB2))
lin	0.83	0.00	d241=ln(EB2/(EB1+EB2))
lin	0.83	0.00	d31=EB1/(EB1+EB2)
lin	0.83	0.00	d35=EB1/(EB2+EB3)
lin	0.83	0.00	d41=EB2/(EB1+EB2)
lin	0.83	0.00	dd131=exp((EB1+EB2)/EB1)
lin	0.83	0.00	dd141=exp((EB1+EB2)/EB2)
lin	0.83	0.00	dd231=ln((EB1+EB2)/EB1)
lin	0.83	0.00	dd241=ln((EB1+EB2)/EB2)
lin	0.83	0.00	dd31=(EB1+EB2)/EB1
lin	0.83	0.00	dd41=(EB1+EB2)/EB2
lin	0.83	0.00	e213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB1)
lin	0.83	0.00	k04=(EB1+EB3-EB2)/EB3
lin	0.83	0.00	k104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB3)
lin	0.83	0.00	k113=exp((EB2+EB3-EB1)/EB3)
lin	0.83	0.00	k13=(EB2+EB3-EB1)/EB3
lin	0.83	0.00	k204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB3)
lin	0.83	0.00	k213=ln((EB2+EB3-EB1)/EB3)

lin	0.83	0.00	$s10=(EB1+EB5-EB2)/EB5$
lin	0.83	0.00	$s110=\exp((EB1+EB5-EB2)/EB5)$
lin	0.83	0.00	$s19=(EB2+EB5-EB1)/EB5$
lin	0.83	0.00	$s219=\ln((EB2+EB5-EB1)/EB5)$
lin	0.83	0.00	$t07=(EB1+EB4-EB2)/EB4$
lin	0.83	0.00	$t107=\exp((EB1+EB4-EB2)/EB4)$
lin	0.83	0.00	$t116=\exp((EB2+EB4-EB1)/EB4)$
lin	0.83	0.00	$t16=(EB2+EB4-EB1)/EB4$
lin	0.83	0.00	$t207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB4)$
lin	0.83	0.00	$t216=\ln((EB2+EB4-EB1)/EB4)$

Πίνακας 35: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Capo Granitola



Εικόνα 12: Διαγράμματα συσχέτισης συγκέντρωσης μεθανίου με τους δείκτες 2 καναλιών d11 και d111

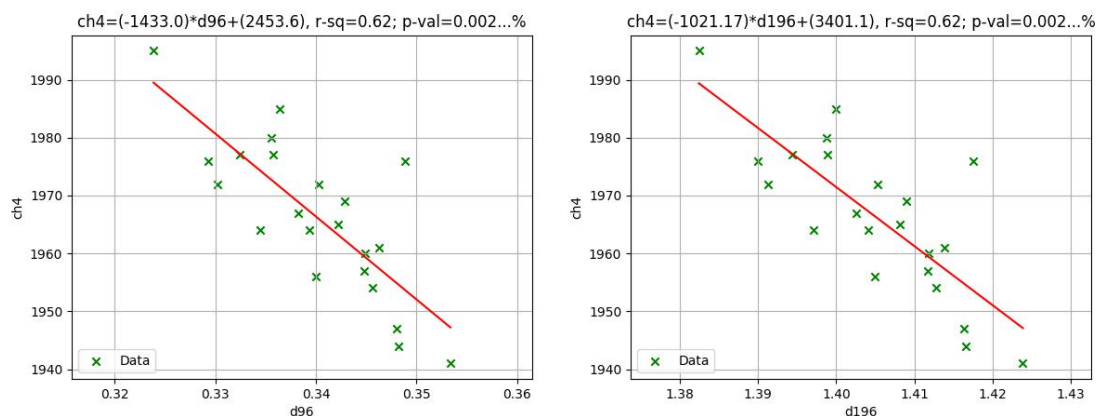
Σταθμοί LECCE και LAMEZIA TERME

- Σύνολο δεδομένων (34 εγγραφές, 1930 ppb - 2035 ppb)

Για το σύνολο των δεδομένων των δύο σταθμών δεν παρατηρήθηκε τιμή $R^2 \geq 50\%$. Η ψηλότερη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 48%, για τους δείκτες e120, i06 και k119 που ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b5.

- Μέρος δεδομένων (22 εγγραφές, 1940 ppb - 1995 ppb)

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε δοκιμή για μικρότερο διάστημα συγκέντρωσης δεδομένων, με ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Σχεδόν 500 συσχετίσεις είχαν τιμή $R^2 \geq 50\%$ και 25 είχαν τιμή $R^2 \geq 60\%$. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 62% και προέκυψε για τους δείκτες d96, d196 και d296. Στον πίνακα 36 καταγράφηκαν οι συσχετίσεις των δεικτών με $R^2 \geq 60\%$. Στην εικόνα 13 απεικονίστηκαν τα διαγράμματα γραμμικής συσχέτισης των δεικτών d96 και d196.



Εικόνα 13: Διαγράμματα συσχέτισης συγκέντρωσης μεθανίου με τους δείκτες d96 και d196

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.60	0.00	$s121=\exp((EB2+EB5-EB4)/EB5)$
exp	0.60	0.00	$s126=\exp((EB4+EB5-EB2)/EB5)$
lin	0.60	0.00	$s126=\exp((EB4+EB5-EB2)/EB5)$
log	0.60	0.00	$s126=\exp((EB4+EB5-EB2)/EB5)$
exp	0.60	0.00	$s21=(EB2+EB5-EB4)/EB5$
lin	0.60	0.00	$s21=(EB2+EB5-EB4)/EB5$
log	0.60	0.00	$s21=(EB2+EB5-EB4)/EB5$
exp	0.60	0.00	$s221=\ln((EB2+EB5-EB4)/EB5)$
lin	0.60	0.00	$s221=\ln((EB2+EB5-EB4)/EB5)$
exp	0.60	0.00	$s26=(EB4+EB5-EB2)/EB5$
lin	0.60	0.00	$s26=(EB4+EB5-EB2)/EB5$
exp	0.61	0.00	$d296=\ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
lin	0.61	0.00	$d296=\ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
log	0.61	0.00	$d96=EB2/(EB1+EB3+EB4)$
exp	0.61	0.00	$s121=\exp((EB2+EB5-EB4)/EB5)$
lin	0.61	0.00	$s121=\exp((EB2+EB5-EB4)/EB5)$
exp	0.61	0.00	$s226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB5)$
lin	0.61	0.00	$s226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB5)$
log	0.61	0.00	$s26=(EB4+EB5-EB2)/EB5$
exp	0.62	0.00	$d196=\exp(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
lin	0.62	0.00	$d196=\exp(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
log	0.62	0.00	$d196=\exp(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
log	0.62	0.00	$d296=\ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))$
exp	0.62	0.00	$d96=EB2/(EB1+EB3+EB4)$

lin	0.62	0.00	d96=EB2/(EB1+EB3+EB4)
-----	------	------	-----------------------

Πίνακας 36: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Lamezia Terme

Σταθμοί LECCE - LAMEZIA TERME - CAPO GRANITOLA

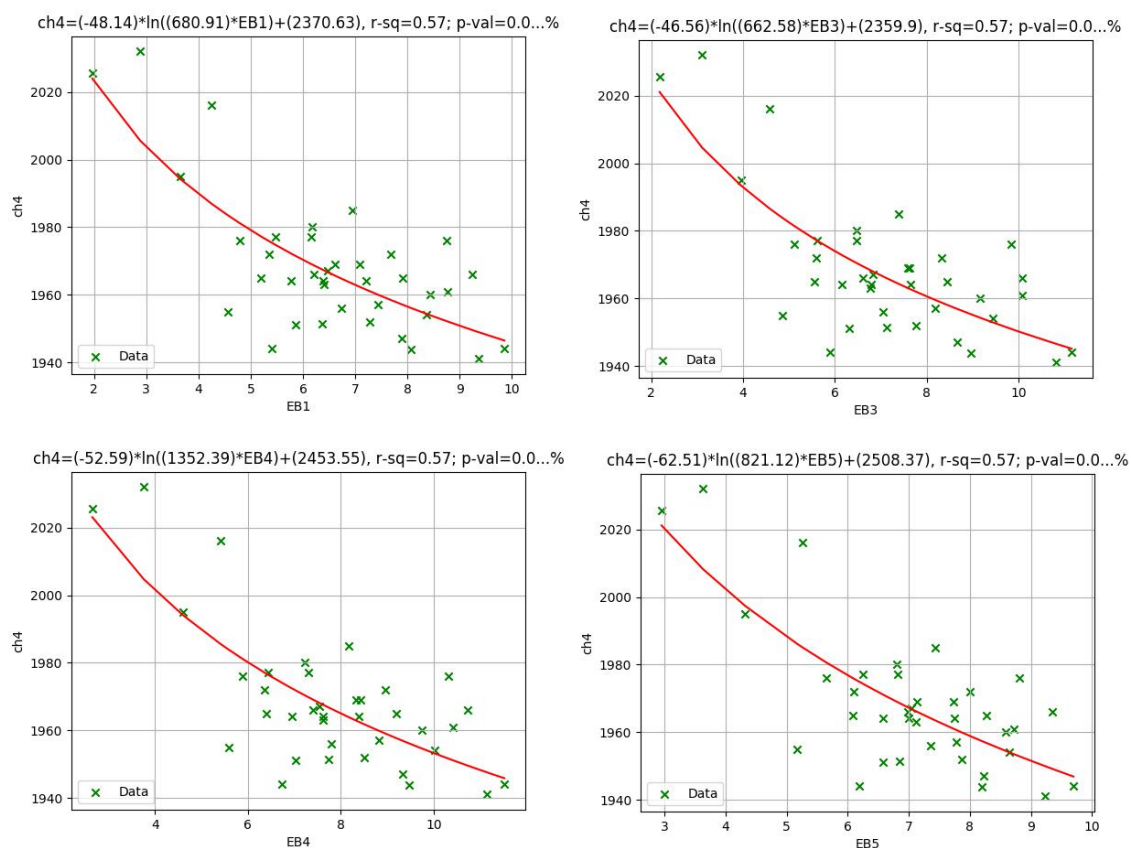
➤ Σύνολο δεδομένων (37 εγγραφές, 1940 prb - 2035 prb)

Η δοκιμή που πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα των 3 σταθμών που βρίσκονται στη Νότια Ιταλία, είχε πολύ ενθαρρυντικά αποτελέσματα. Η τιμή R^2 672 συσχετίσεων ξεπέρασε το 50%. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 60% για τον δείκτη dd201 (διάγραμμα 22). Παρατηρήθηκε ψηλή συσχέτιση των δεδομένων ελέγχου με μεμονωμένα κανάλια και όχι μόνο με δείκτες. Τα κανάλια b1, b3, b4 και b5 παρουσίασαν τιμή R^2 ίση με 57%. Στον πίνακα 37 καταγράφονται οι υψηλότερες συσχετίσεις που παρατηρήθηκαν. Στην εικόνα 14 παρουσιάζονται τα διαγράμματα συσχέτισης που αφορούσαν τα κανάλια b1, b3, b4 και b5.

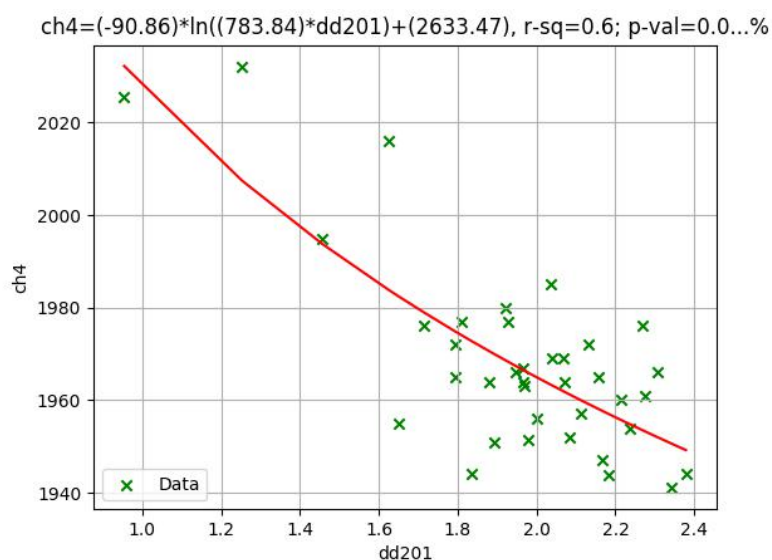
Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
lin	0.57	0.00	d162=exp(EB4/(EB1+EB3))
log	0.57	0.00	dd01=(EB3+EB4+EB5)/3
log	0.57	0.00	dd02=(EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5
log	0.57	0.00	dd03=EB3+EB4+EB5
lin	0.57	0.00	dd201=ln((EB3+EB4+EB5)/3)
lin	0.57	0.00	dd202=ln((EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5)
lin	0.57	0.00	dd203=ln(EB3+EB4+EB5)
log	0.57	0.00	e120=exp((EB2+EB5-EB3)/EB1)
lin	0.57	0.00	e20=(EB2+EB5-EB3)/EB1
log	0.57	0.00	EB1
log	0.57	0.00	EB3
log	0.57	0.00	EB4
log	0.57	0.00	EB5
log	0.57	0.00	i05=(EB1+EB3-EB4)/EB2
lin	0.57	0.00	i06=(EB1+EB3-EB5)/EB2
log	0.57	0.00	i06=(EB1+EB3-EB5)/EB2
log	0.57	0.00	i106=exp((EB1+EB3-EB5)/EB2)
lin	0.57	0.00	i205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB2)
lin	0.57	0.00	i206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB2)
lin	0.57	0.00	k116=exp((EB2+EB4-EB1)/EB3)
log	0.57	0.00	k119=exp((EB2+EB5-EB1)/EB3)

lin	0.57	0.00	$k19=(EB2+EB5-EB1)/EB3$
log	0.57	0.00	$t05=(EB1+EB3-EB4)/EB4$
log	0.57	0.00	$t06=(EB1+EB3-EB5)/EB4$
lin	0.57	0.00	$t205=\ln((EB1+EB3-EB4)/EB4)$
lin	0.57	0.00	$t206=\ln((EB1+EB3-EB5)/EB4)$
exp	0.58	0.00	$e120=\exp((EB2+EB5-EB3)/EB1)$
lin	0.58	0.00	$e120=\exp((EB2+EB5-EB3)/EB1)$
exp	0.58	0.00	$e127=\exp((EB4+EB5-EB3)/EB1)$
lin	0.58	0.00	$e127=\exp((EB4+EB5-EB3)/EB1)$
exp	0.58	0.00	$k119=\exp((EB2+EB5-EB1)/EB3)$
lin	0.58	0.00	$k119=\exp((EB2+EB5-EB1)/EB3)$
exp	0.58	0.00	$k125=\exp((EB4+EB5-EB1)/EB3)$
lin	0.58	0.00	$k125=\exp((EB4+EB5-EB1)/EB3)$
log	0.59	0.00	$dd202=\ln((EB1+EB2+EB3+EB4+EB5)/5)$
log	0.59	0.00	$dd203=\ln(EB3+EB4+EB5)$
log	0.60	0.00	$dd201=\ln((EB3+EB4+EB5)/3)$

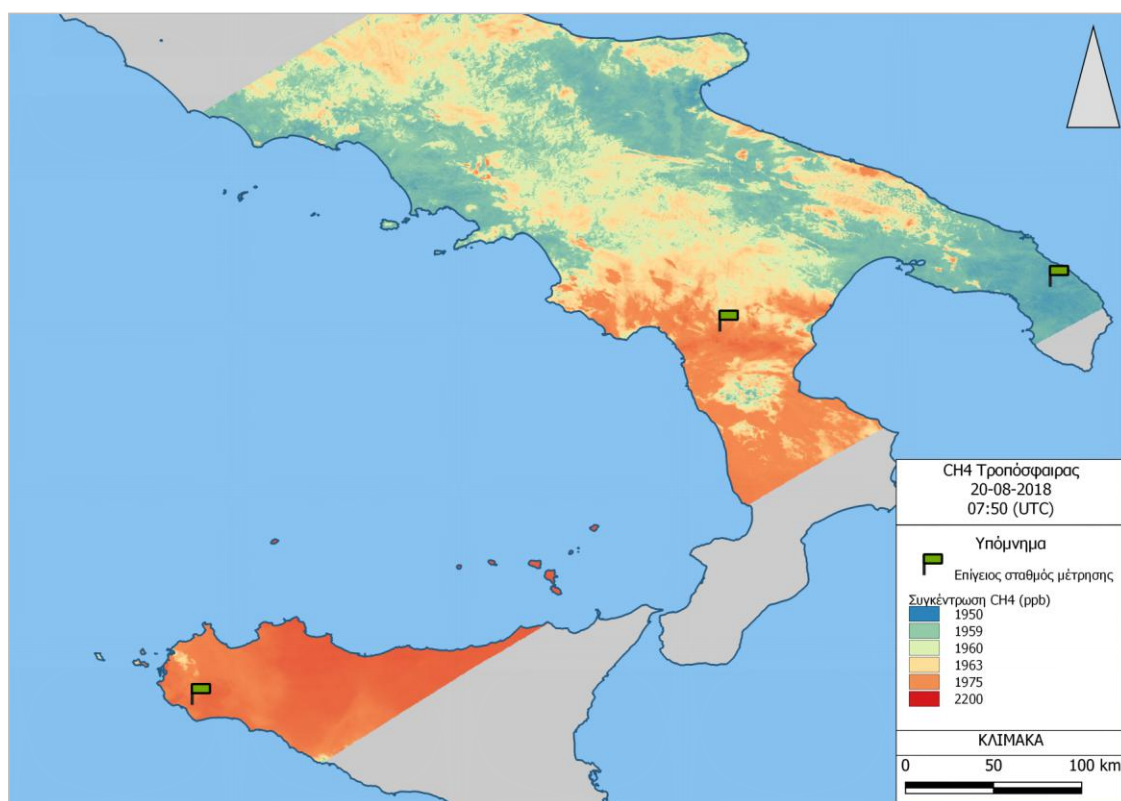
Πίνακας 37: Συσχετίσεις σταθμών Lecce, Lamezia Terme και Capo Granitola



Εικόνα 14: Διαγράμματα συσχέτισης συγκέντρωσης μεθανίου με τα κανάλια b1, b3, b4 και b5



Ο χάρτης 2 απεικονίζει τη συγκέντρωση μεθανίου στη Νότια Ιταλία, όπως προέκυψε από το μοντέλο συσχέτισης του δείκτη dd201 και τις εικόνες ECOSTRESS στις 20 Αυγούστου 2018.



Χάρτης 2: Συγκέντρωση CH4 στην τροπόσφαιρα στις 20-08-2018, στην περιοχή της Νότιας Ιταλίας

➤ Μέρος συνόλου δεδομένων (27 εγγραφές, 1940 ppb - 1980 ppb)

Πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη δοκιμή για τα δεδομένα που αφορούσαν τους 3 νότιους σταθμούς, για διάστημα συγκέντρωσης μεθανίου από 1940 ppb έως 1980 ppb.

Παρατηρήθηκαν 211 συσχετίσεις με τιμή $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα 38, αναφέρονται οι δείκτες με τη μεγαλύτερη τιμή R^2 .

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.53	0.00	d116=ln(EB2/EB4)
lin	0.53	0.00	d196=exp(EB2/(EB1+EB3+EB4))
lin	0.53	0.00	d296=ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))
log	0.53	0.00	d296=ln(EB2/(EB1+EB3+EB4))
log	0.53	0.00	d6=(abs(EB2-EB4))/(EB2+EB4)
lin	0.53	0.00	d96=EB2/(EB1+EB3+EB4)
log	0.53	0.00	d96=EB2/(EB1+EB3+EB4)
lin	0.53	0.00	dd143=exp((EB1+EB4)/EB2)
log	0.53	0.00	dd143=exp((EB1+EB4)/EB2)
lin	0.53	0.00	dd43=(EB1+EB4)/EB2
lin	0.53	0.00	i07=(EB1+EB4-EB2)/EB2
lin	0.53	0.00	i107=exp((EB1+EB4-EB2)/EB2)
log	0.53	0.00	i107=exp((EB1+EB4-EB2)/EB2)
log	0.53	0.00	k214=ln((EB2+EB3-EB4)/EB3)
log	0.53	0.00	k223=ln((EB3+EB4-EB2)/EB3)
log	0.53	0.00	k221=ln((EB2+EB5-EB4)/EB3)
exp	0.54	0.00	d143=exp(EB2/(EB1+EB4))
lin	0.54	0.00	d143=exp(EB2/(EB1+EB4))
log	0.54	0.00	d143=exp(EB2/(EB1+EB4))
exp	0.54	0.00	d243=ln(EB2/(EB1+EB4))
lin	0.54	0.00	d243=ln(EB2/(EB1+EB4))
exp	0.54	0.00	d43=EB2/(EB1+EB4)
lin	0.54	0.00	d43=EB2/(EB1+EB4)
exp	0.54	0.00	dd243=ln((EB1+EB4)/EB2)
lin	0.54	0.00	dd243=ln((EB1+EB4)/EB2)
log	0.54	0.00	dd43=(EB1+EB4)/EB2
log	0.54	0.00	i07=(EB1+EB4-EB2)/EB2

Πίνακας 38: Συσχετίσεις σταθμών Lecce, Lamezia Terme και Capo Granitola

5.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα

Σταθμός LECCE

- Για το σύνολο των δεδομένων (16 εγγραφές, 121 ppb - 215 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για το σύνολο των δεδομένων στην περίπτωση που δεν λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών στον σταθμό Lecce, προέκυψαν 985 συσχετίσεις με τιμή $R^2 \geq 50\%$. Η μεγαλύτερη τιμή R^2 που παρουσιάστηκε ήταν 58%. Στον πίνακα 39, φαίνονται τα στοιχεία των δεικτών με την μεγαλύτερη ένδειξη R^2 .

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.58	0.07	e20=(EB2+EB5-EB3)/EB1
lin	0.58	0.07	e220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB1)
lin	0.58	0.06	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
log	0.58	0.06	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
exp	0.58	0.07	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
lin	0.58	0.07	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
log	0.58	0.06	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
lin	0.58	0.06	s204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB5)

Πίνακας 39: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (13 εγγραφές, 125 ppb - 180 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα συγκέντρωσης από 125 ppb έως 180 ppb, υπήρχαν δείκτες με $R^2 \geq 50\%$. Η υψηλότερη τιμή αφορούσε τους δείκτες i226 και s203 και ήταν 73%.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.50	0.68	e227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB1)
log	0.50	0.71	s205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB5)
log	0.51	0.65	s206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB5)
exp	0.56	0.33	s206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB5)
lin	0.56	0.33	s206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB5)
lin	0.68	0.05	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)
exp	0.69	0.04	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)
log	0.69	0.04	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)
lin	0.72	0.03	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)
exp	0.73	0.02	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)
log	0.73	0.02	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)

Πίνακας 40: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Για το σύνολο των δεδομένων (16 εγγραφές, 121 prb - 215 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Τα αποτελέσματα που αφορούσαν το σύνολο των δεδομένων με χρήση συντελεστή εκπομπής, δεν διαφοροποιήθηκαν από την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Συγκεκριμένα προέκυψαν 996 συσχετίσεις με τιμή $R^2 \geq 50\%$ και στα 3 μοντέλα συσχέτισης. Μέγιστη τιμή R^2 ήταν το 58% και εμφανίστηκε στους ίδιους δείκτες με προηγούμενως. Στον πίνακα 41 αναγράφονται οι ψηλότερες συσχετίσεις.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.58	0.07	e20=(EB2+EB5-EB3)/EB1
lin	0.58	0.07	e220=ln((EB2+EB5-EB3)/EB1)
lin	0.58	0.06	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
log	0.58	0.06	s04=(EB1+EB3-EB2)/EB5
exp	0.58	0.07	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
lin	0.58	0.07	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
log	0.58	0.06	s104=exp((EB1+EB3-EB2)/EB5)
lin	0.58	0.06	s204=ln((EB1+EB3-EB2)/EB5)

Πίνακας 41: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, με συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (13 εγγραφές, 125 prb - 180 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Στο διάστημα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα από 125 prb έως 180 prb, η τιμή R^2 έφτασε 68%. Ορισμένοι δείκτες που ξεπερνούσαν το 50% ήταν κοινοί με την περίπτωση που δεν λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής εκπομπής. Στον πίνακα 42 παρουσιάζονται οι δείκτες με $R^2 \geq 50\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.50	0.70	e227=ln((EB4+EB5-EB3)/EB1)
log	0.50	0.67	i203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB2)
log	0.50	0.66	i219=ln((EB2+EB5-EB1)/EB2)
log	0.50	0.67	k206=ln((EB1+EB3-EB5)/EB3)
log	0.50	0.65	t209=ln((EB1+EB4-EB5)/EB4)
log	0.50	0.65	t225=ln((EB4+EB5-EB1)/EB4)
log	0.51	0.63	d114=ln(EB1/EB5)
log	0.51	0.63	d4=(abs(EB1-EB5))/(EB1+EB5)
log	0.59	0.22	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)
lin	0.60	0.18	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)

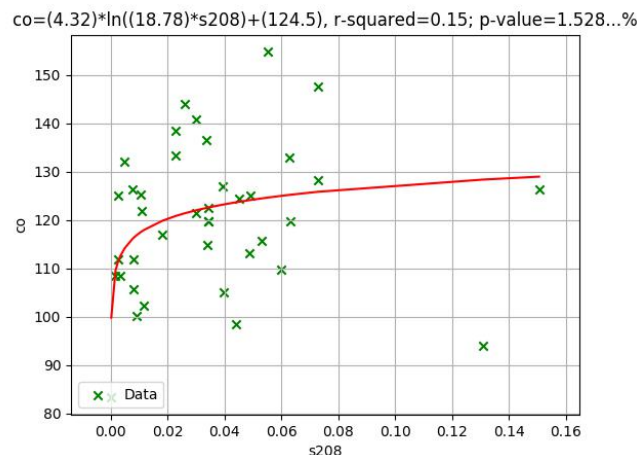
exp	0.61	0.17	$s203=\ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)$
lin	0.64	0.10	$i226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)$
exp	0.65	0.09	$i226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)$
log	0.68	0.06	$i226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)$

Πίνακας 42: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, με συντελεστή εκπομπής

Σταθμός MONTE CIMONE

- Για το σύνολο των δεδομένων (39 εγγραφές, 80 ppb - 155 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στο σύνολο των δεδομένων του σταθμού Monte Cimone, δεν παρατηρήθηκε κάποια συσχέτιση μεταξύ δεικτών και μονοξειδίου του άνθρακα. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 15%. Παρατηρώντας τις επίγειες τιμές συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα (διάγραμμα 23), έγινε η υπόθεση ότι οι τιμές κάτω από 100 ppb και πάνω από 145 ppb ήταν ακραίες τιμές.



Διάγραμμα 23: Διασπορά δεδομένων μονοξειδίου του άνθρακα

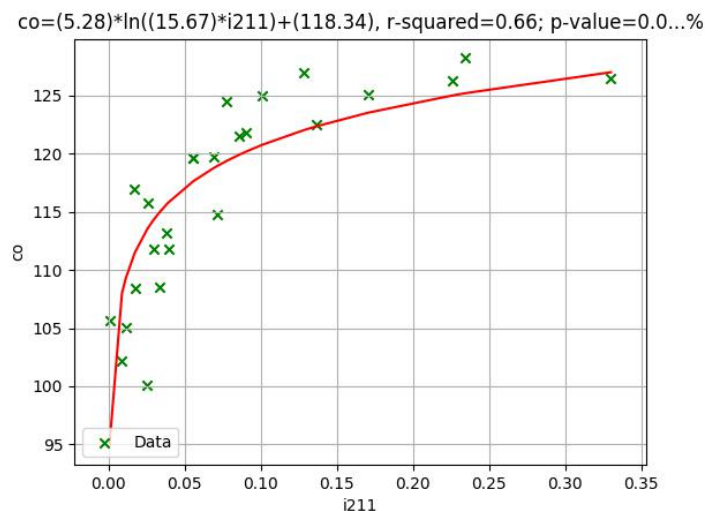
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (25 εγγραφές, 100 ppb - 130 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στο διάστημα 100 ppb έως 130 ppb, 13 συσχετίσεις οδήγησαν σε τιμή $R^2 > 50\%$. Η μέγιστη τιμή ήταν 66% και καταγράφηκε για τους δείκτες e215, i211 και k210. Στο διάγραμμα 24 απεικονίστηκε το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης των δεδομένων ελέγχου με τον δείκτη i211.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
lin	0.51	0.01	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
lin	0.51	0.01	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$
log	0.53	0.00	$s224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)$
exp	0.54	0.00	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
exp	0.55	0.00	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$

lin	0.57	0.00	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
lin	0.57	0.00	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
log	0.58	0.00	$s218=\ln((EB2+EB4-EB5)/EB5)$
log	0.59	0.00	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
log	0.65	0.00	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$
log	0.66	0.00	$e215=\ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)$
log	0.66	0.00	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
log	0.66	0.00	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$

Πίνακας 43: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 24: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη i211

- Για το σύνολο των δεδομένων (39 εγγραφές, 80 prb - 155 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Για το σύνολο δεδομένων, στο σταθμό Monte Cimone, παρόμοιο ήταν το αποτέλεσμα και στην περίπτωση που λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής εκπομπής. Οι τιμές δεν ακολουθούσαν κανένα μοντέλο. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 12%.

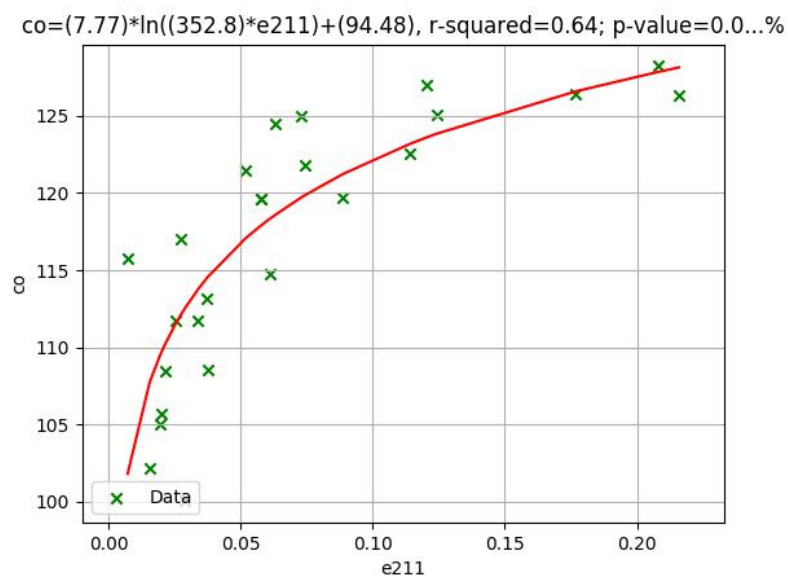
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (25 εγγραφές, 100 prb - 130 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Συγκριτικά με την δοκιμή που έγινε χωρίς τη χρήση του συντελεστή εκπομπής, σε αυτή τη δοκιμή περισσότεροι δείκτες έδωσαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Συγκεκριμένα παρατηρήθηκαν 21 συσχετίσεις έναντι 13. Ωστόσο, η μέγιστη τιμή που παρατηρήθηκε ήταν μικρότερη. Στον πίνακα 44 καταγράφονται οι συσχετίσεις αυτής της δοκιμής. Στο διάγραμμα 25, παρουσιάζεται η συσχέτιση του δείκτη $e211$ με τα δεδομένα ελέγχου μονοξειδίου του άνθρακα.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.01	$t224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$

lin	0.50	0.01	$e206=\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
lin	0.52	0.01	$t224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
exp	0.54	0.00	$i220=\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
exp	0.55	0.00	$d119=\ln(EB3/EB5)$
exp	0.55	0.00	$d9=(\text{abs}(EB3-EB5))/(EB3+EB5)$
exp	0.56	0.00	$e211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$
lin	0.56	0.00	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$
lin	0.56	0.00	$d9=(\text{abs}(EB3-EB5))/(EB3+EB5)$
lin	0.56	0.00	$i220=\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
exp	0.57	0.00	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$
lin	0.58	0.00	$e211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$
lin	0.58	0.00	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$
log	0.61	0.00	$t224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
log	0.62	0.00	$d119=\ln(EB3/EB5)$
log	0.62	0.00	$d9=(\text{abs}(EB3-EB5))/(EB3+EB5)$
log	0.62	0.00	$i215=\ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)$
log	0.62	0.00	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$
log	0.63	0.00	$e206=\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
log	0.63	0.00	$i220=\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
log	0.64	0.00	$e211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$

Πίνακας 44: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, με συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 25: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη e211

Σταθμός CAPO GRANITOLA

- Για το σύνολο των δεδομένων (17 εγγραφές, 90 ppb - 181 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

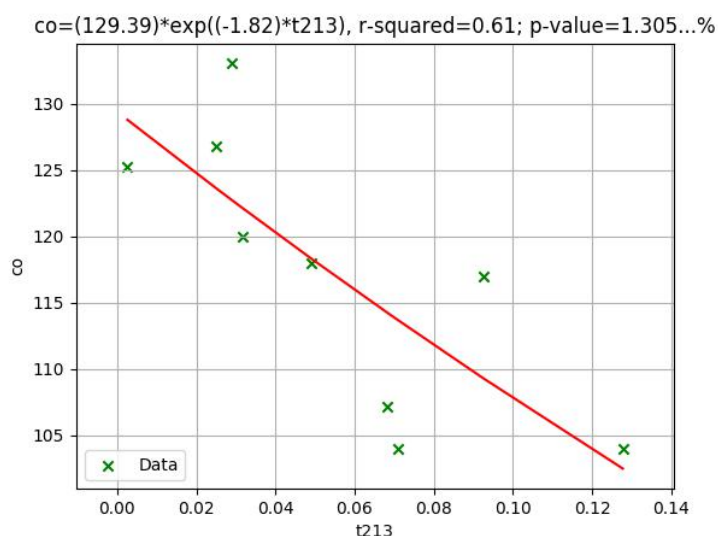
Στο σύνολο των δεδομένων δεν παρατηρήθηκε κάποια συσχέτιση μεταξύ δεικτών και μονοξειδίου του άνθρακα. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 23%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (9 εγγραφές, 100 ppb - 135 ppb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα παρουσιάστηκαν για το διάστημα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα από 100 ppb έως 135 ppb. Σε αυτή την περίπτωση υπήρχαν δείκτες με $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι περιπτώσεις αυτές. Λόγω του μικρού πλήθους των δεδομένων, δεν δόθηκε ιδιαίτερη βαρύτητα σε αυτό το σύνολο δεδομένων.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.52	2.84	$i207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$
lin	0.58	1.75	$e214=\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
lin	0.58	1.72	$i208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
lin	0.58	1.65	$k207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
exp	0.59	1.59	$e214=\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
exp	0.59	1.60	$i208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.59	1.56	$k207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
lin	0.60	1.39	$t213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$
exp	0.61	1.30	$t213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$

Πίνακας 45: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 26: Εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη t213

- Για το σύνολο των δεδομένων (17 εγγραφές, 90 prb - 181 prb) - με συντελεστή εκπομπής

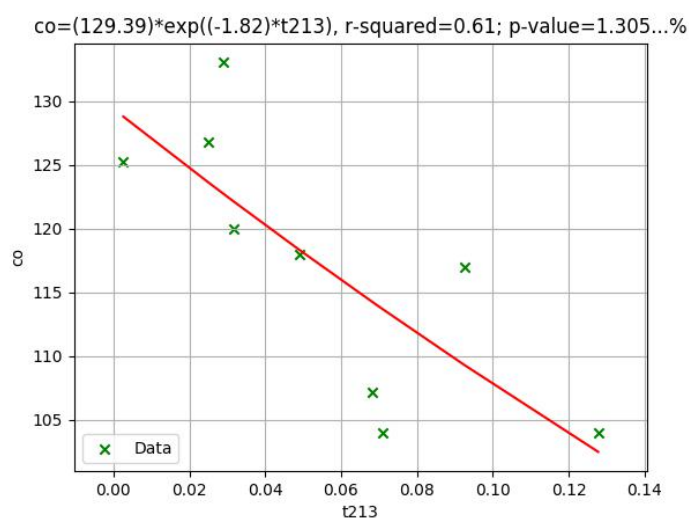
Παρόμοιο ήταν το αποτέλεσμα και για το σύνολο των δεδομένων στην περίπτωση που λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής εκπομπής. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 23%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (9 εγγραφές, 100 prb - 135 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Στο διάστημα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα από 100 prb έως 135 prb για τα δεδομένα με συντελεστή εκπομπής, τα αποτελέσματα ήταν όμοια με την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Στον πίνακα παρουσιάζονται οι καλύτερες συσχετίσεις. Και σε αυτή την περίπτωση το εκθετικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη t_{213} είχε την υψηλότερη τιμή R^2 . Στο διάγραμμα 27 απεικονίζεται το εκθετικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη t_{213} .

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.52	2.84	$i_{207}=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$
lin	0.58	1.75	$e_{214}=\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
lin	0.58	1.72	$i_{208}=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
lin	0.58	1.65	$k_{207}=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
exp	0.59	1.59	$e_{214}=\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
exp	0.59	1.60	$i_{208}=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.59	1.56	$k_{207}=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
lin	0.60	1.39	$t_{213}=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$
exp	0.61	1.30	$t_{213}=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$

Πίνακας 46: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, με συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 27: Εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη t_{213}

Σταθμός LAMEZIA TERME

Καμία δοκιμή που αφορούσε τον σταθμό Lamezia Terme, δεν παρουσίασε συσχέτιση ψηλότερη από 50%.

- Για το σύνολο των δεδομένων (32 εγγραφές, 80 prb - 310 prb) - χωρίς συντελεστή συσχέτισης

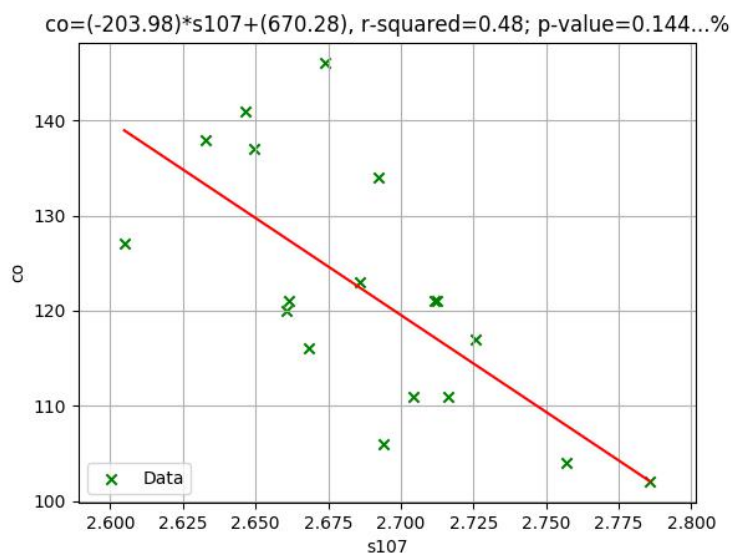
Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, αρχικά εξετάστηκε το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν κοντά στο 45%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (18 εγγραφές, 100 prb - 150 prb) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στη συνέχεια εξετάστηκε το διάστημα 100 prb έως 150 prb, με πιο ενθαρρυντικά αποτελέσματα αφού η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 48%. Στον πίνακα 47 παρουσιάζονται οι περιπτώσεις με την καλύτερη συσχέτιση.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
lin	0.48	0.15	$s_{07}=(EB1+EB4-EB2)/EB5$
lin	0.48	0.14	$s_{107}=\exp((EB1+EB4-EB2)/EB5)$
log	0.48	0.15	$s_{07}=(EB1+EB4-EB2)/EB5$
log	0.48	0.15	$s_{107}=\exp((EB1+EB4-EB2)/EB5)$
log	0.48	0.15	$t_{19}=(EB2+EB5-EB1)/EB4$

Πίνακας 47: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, χωρίς συντελεστή εκπομπής



- Για το σύνολο των δεδομένων (32 εγγραφές, 80 prb - 310 prb) - με συντελεστή εκπομπής

Στην περίπτωση που οι δείκτες υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή εκπομπής των καναλιών, δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση σε σχέση με την

περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν 45%

➤ Μέρος του συνόλου δεδομένων (18 εγγραφές, 100 ppb - 150 ppb)

Η δεύτερη δοκιμή για το διάστημα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα 100 ppb έως 150 ppb, έδειξε ότι δεν υπήρχε καμία συσχέτιση μεταξύ των δεδομένων και των δεικτών που υπολογίστηκαν λαμβάνοντας υπόψη το συντελεστή εκπομπής των καναλιών. Σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν μόλις 27% με p-value 2.84%.

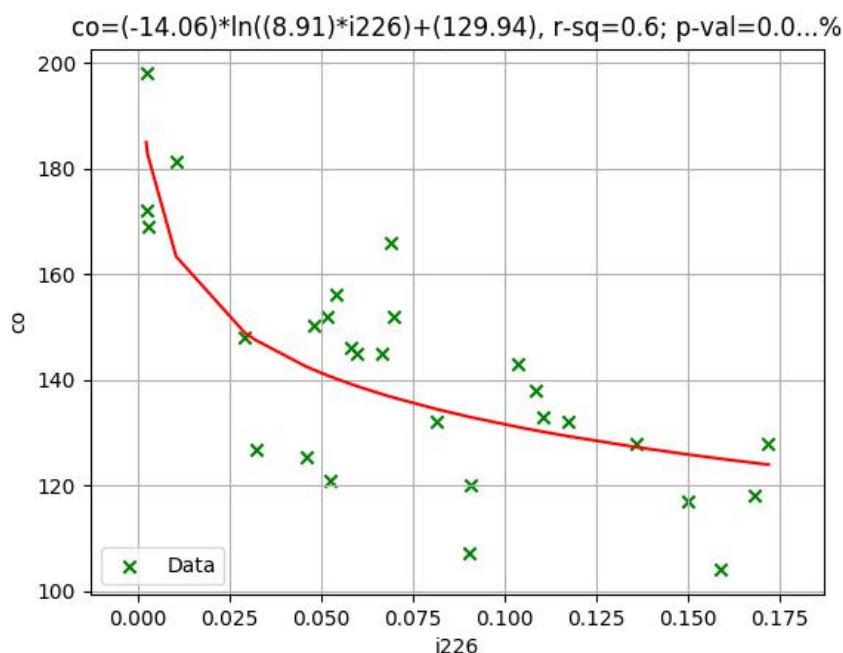
Σταθμοί LECCE και CAPO GRANITOLA

➤ Για το σύνολο δεδομένων (28 εγγραφές, 100 ppb - 200 ppb)

Τα δεδομένα των σταθμών Lecce και Capo Granitola, εξετάστηκαν μαζί. Οι δείκτες i226 και s203 φάνηκε να συσχετίζονται με τα δεδομένα ελέγχου μονοξειδίου του άνθρακα. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 60%. Ο δείκτης i226 συσχετίστηκε καλύτερα με τις επίγειες μετρήσεις με λογαριθμικό μοντέλο. Στο διάγραμμα 29 παρουσιάζεται η συσχέτισή του.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
lin	0.52	0	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)
log	0.53	0	s203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB5)
exp	0.55	0	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)
log	0.60	0	i226=ln((EB4+EB5-EB2)/EB2)

Πίνακας 48: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Capo Granitola



Σταθμοί LECCE και LAMEZIA TERME

➤ Μέρος του συνόλου δεδομένων (22 εγγραφές, 125 ppb - 200 ppb)

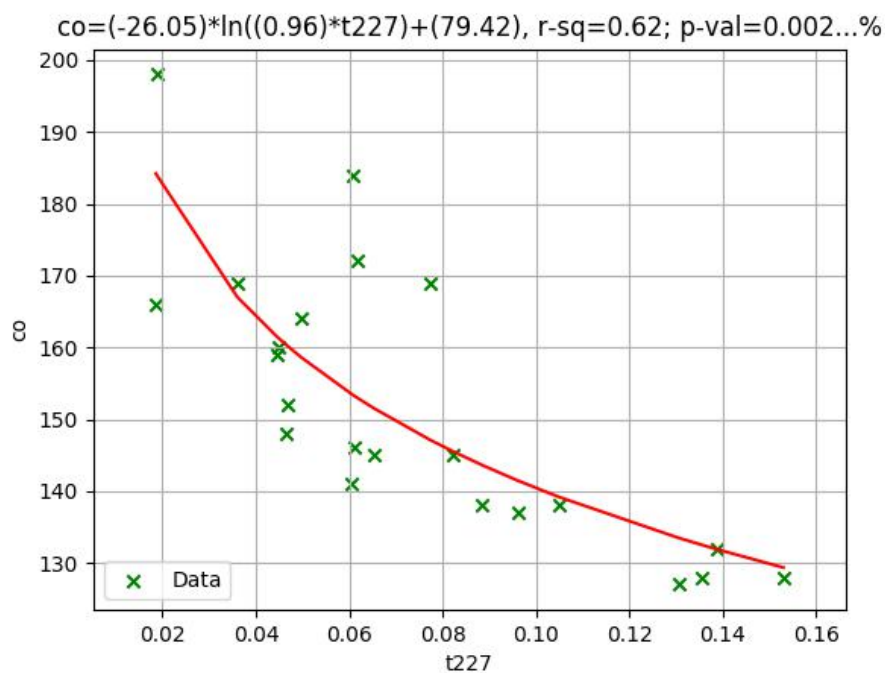
Τα δεδομένα των σταθμών Lecce και Lamezia Terme, φάνηκε να έχουν συσχέτιση με τα επίγεια δεδομένα. 43 δοκιμές είχαν τιμή $R^2 > 50\%$ (πίνακας 49). Ο δείκτης με την καλύτερη συσχέτιση ήταν ο t227, στο λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης (διάγραμμα 30).

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.03	s209= $\ln((EB1+EB4-EB5)/EB5)$
lin	0.51	0.02	s209= $\ln((EB1+EB4-EB5)/EB5)$
lin	0.53	0.01	e214= $\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
exp	0.54	0.01	e214= $\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
lin	0.54	0.01	i215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)$
exp	0.55	0.01	i215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)$
lin	0.55	0.01	e206= $\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
lin	0.55	0.01	i208= $\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
lin	0.55	0.01	t213= $\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$
exp	0.56	0.01	e206= $\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
exp	0.56	0.01	i208= $\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.56	0.01	s215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB5)$
exp	0.56	0.01	t213= $\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$
lin	0.56	0.01	k207= $\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
lin	0.56	0.01	s215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB5)$
log	0.56	0.01	i215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)$
exp	0.57	0.01	k207= $\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
log	0.57	0.01	e206= $\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
log	0.58	0.00	e214= $\ln((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
exp	0.59	0.00	t224= $\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
lin	0.59	0.00	e211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$
lin	0.59	0.00	i220= $\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
lin	0.59	0.00	t224= $\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
log	0.59	0.00	t224= $\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
exp	0.60	0.00	e211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$
exp	0.60	0.00	i220= $\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
lin	0.60	0.00	d119= $\ln(EB3/EB5)$
lin	0.60	0.00	d9= $(\text{abs}(EB3-EB5))/(EB3+EB5)$

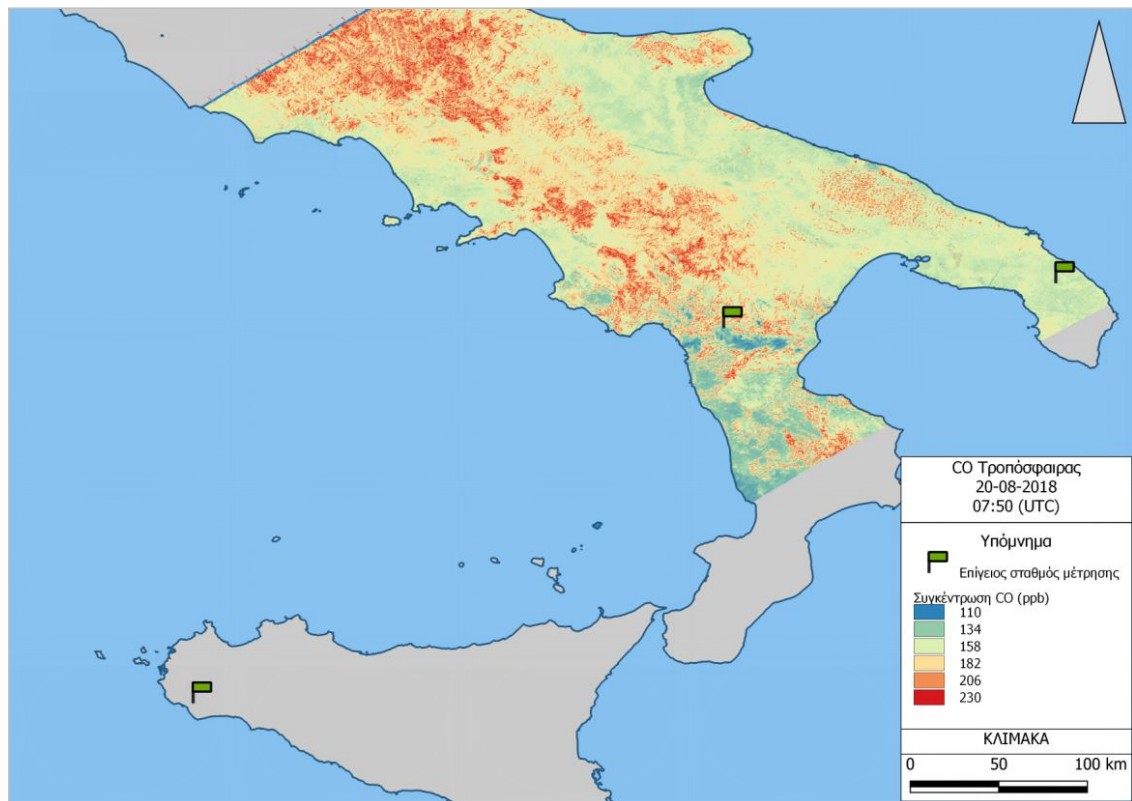
log	0.60	0.00	$d_{119}=\ln(EB_3/EB_5)$
log	0.60	0.00	$d_9=(\text{abs}(EB_3-EB_5))/(EB_3+EB_5)$
log	0.60	0.00	$i_{208}=\ln((EB_1+EB_4-EB_3)/EB_2)$
log	0.60	0.00	$i_{220}=\ln((EB_2+EB_5-EB_3)/EB_2)$
log	0.60	0.00	$k_{207}=\ln((EB_1+EB_4-EB_2)/EB_3)$
log	0.60	0.00	$t_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_4)$
exp	0.61	0.00	$d_{119}=\ln(EB_3/EB_5)$
exp	0.61	0.00	$d_9=(\text{abs}(EB_3-EB_5))/(EB_3+EB_5)$
exp	0.61	0.00	$t_{227}=\ln((EB_4+EB_5-EB_3)/EB_4)$
lin	0.61	0.00	$t_{227}=\ln((EB_4+EB_5-EB_3)/EB_4)$
log	0.61	0.00	$e_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_1)$
log	0.62	0.00	$t_{227}=\ln((EB_4+EB_5-EB_3)/EB_4)$

Πίνακας 49: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Lamezia Terme

Αυτό το μοντέλο συσχέτισης χρησιμοποιήθηκε ώστε να κατασκευαστεί ο χάρτης 3, ο οποίος απεικονίζει τη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα για την περιοχή της Νότιας Ιταλίας στις 20 Αυγούστου 2018.



Διάγραμμα 30: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη t227



Χάρτης 3: Συγκέντρωση CO στην τροπόσφαιρα στις 20-08-2018, στην περιοχή της Νότιας Ιταλίας

5.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα

Σταθμός LECCE

- Για το σύνολο των δεδομένων (20 εγγραφές, 394 ppm - 471 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Η πρώτη δοκιμή αφορούσε το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων. Το εύρος τιμών συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα κυμάνθηκε από 394 ppm έως 470 ppm. Τα αποτελέσματα δεν έδειξαν να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ δεδομένων ελέγχου και τηλεπισκοπικών δεικτών. Η μέγιστη τιμή R^2 καταγράφηκε για τον δείκτη i210 και ήταν 28%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (19 εγγραφές, 394 ppm - 450 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

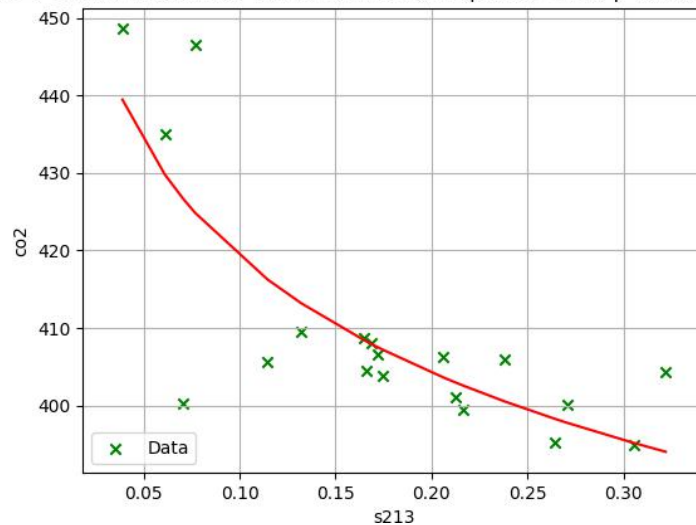
Πραγματοποιήθηκε μια δεύτερη δοκιμή όπου αφαιρέθηκε η μέγιστη επίγεια μέτρηση συγκέντρωσης, η οποία μπορεί να ήταν λανθασμένη αφού ήταν η μοναδική τόσο ψηλή τιμή (470 ppm) σε αυτό τον σταθμό. Με αυτή τη δοκιμή φάνηκε ότι υπάρχει τάση συσχέτισης μεταξύ επίγειων μετρήσεων και τηλεπισκοπικών δεικτών. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 64%.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.08	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
lin	0.50	0.07	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$

exp	0.51	0.06	$s_{213} = \ln((EB_2 + EB_3 - EB_1)/EB_5)$
lin	0.54	0.03	$i_{210} = \ln((EB_1 + EB_5 - EB_2)/EB_2)$
exp	0.55	0.03	$i_{210} = \ln((EB_1 + EB_5 - EB_2)/EB_2)$
log	0.62	0.01	$i_{210} = \ln((EB_1 + EB_5 - EB_2)/EB_2)$
log	0.63	0.01	$i_{211} = \ln((EB_1 + EB_5 - EB_3)/EB_2)$
log	0.63	0.01	$k_{210} = \ln((EB_1 + EB_5 - EB_2)/EB_3)$
log	0.64	0.00	$s_{213} = \ln((EB_2 + EB_3 - EB_1)/EB_5)$

Πίνακας 50:Συσχετίσεις σταθμού Lecce, χωρίς συντελεστή εκπομπής

$co_2 = (-21.51) * \ln((137.51) * s_{213}) + (475.57)$, r-squared=0.64; p-value=0.004...



Διάγραμμα 31: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη s_{213}

- Για το σύνολο των δεδομένων (20 εγγραφές, 394 ppm - 471 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Αντίστοιχη ήταν η σχέση μεταξύ επίγειων και τηλεπισκοπικών δεδομένων και στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Ο ίδιος δείκτης παρουσίασε τη μέγιστη συσχέτιση, της οποίας η τιμή R^2 έφτασε μόλις το 29%, με βελτιωμένη τιμή p-value.

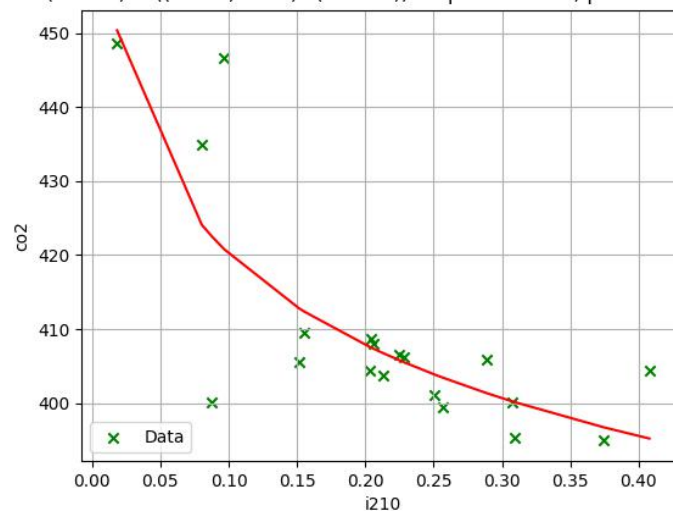
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (19 εγγραφές, 394 ppm - 450 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Στην δεύτερη δοκιμή υπήρξε βελτίωση σε σχέση με τα δεδομένα που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 66% και αφορούσε τον δείκτη i_{210} . Ο δείκτης s_{213} , που προηγουμένως είχε την ψηλότερη συσχέτιση με τα επίγεια δεδομένα, παρέμεινε ψηλά αλλά ήταν μειωμένος κατά 6 ποσοστιαίες μονάδες. Στον πίνακα 51 αναγράφονται οι ψηλότερες συσχετίσεις που παρατηρήθηκαν και στο διάγραμμα 32 παρουσιάζεται το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη i_{210} .

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.50	0.07	$e212=\ln((EB1+EB5-EB4)/EB1)$
log	0.51	0.06	$d10=(\text{abs}(EB4-EB5))/(EB4+EB5)$
log	0.51	0.06	$d120=\ln(EB4/EB5)$
log	0.51	0.06	$i221=\ln((EB2+EB5-EB4)/EB2)$
log	0.51	0.06	$i224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB2)$
lin	0.52	0.05	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
exp	0.53	0.04	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
log	0.56	0.02	$k221=\ln((EB2+EB5-EB4)/EB3)$
log	0.56	0.02	$s223=\ln((EB3+EB4-EB2)/EB5)$
log	0.56	0.02	$t220=\ln((EB2+EB5-EB3)/EB4)$
log	0.58	0.02	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
log	0.58	0.01	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
log	0.58	0.01	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$
log	0.66	0.00	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$

Πίνακας 51: Συσχετίσεις σταθμού Lecce, με συντελεστή εκπομπής

$co2=(-17.75)*\ln((258.5)*i210)+(477.93)$, r-squared=0.66; p-value=0.003...

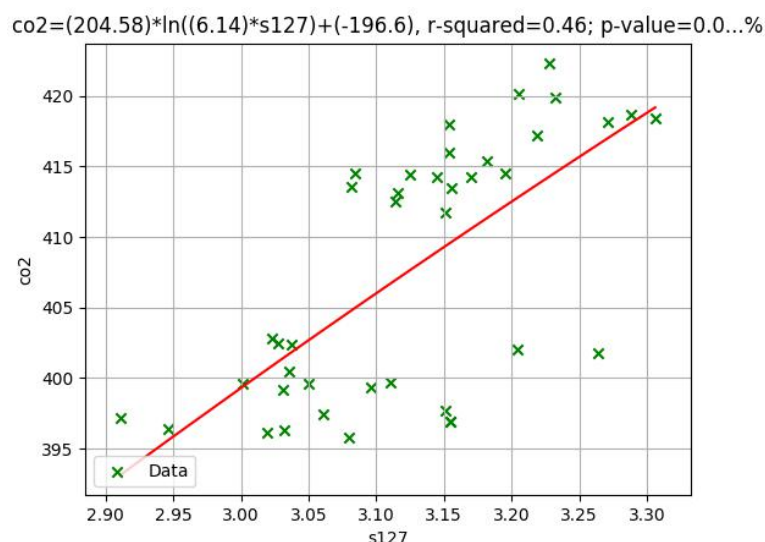


Διάγραμμα 32: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη $i210$

Σταθμός MONTE CIMONE

- Για το σύνολο των δεδομένων (40 εγγραφές, 395 ppm - 425 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Το σύνολο των δεδομένων που αφορούσε το διοξείδιο του άνθρακα στον σταθμό Monte Cimone, παρουσίασε μέγιστη τιμή R^2 ίση με 46%. Παρατηρώντας τη διασπορά των επίγειων δεδομένων του σταθμού στο διάγραμμα 33, φάνηκε ότι οι συγκεντρώσεις χωρίζονταν σε δύο ομάδες, από 390 ppm έως 405 ppm, και από 410 ppm έως 425 ppm. Γι' αυτό στη συνέχεια έγιναν δοκιμές βάσει αυτού του διαχωρισμού.



Διάγραμμα 33: Διασπορά δεδομένων σταθμού Monte Cimone

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 395 ppm - 405 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Τα δεδομένα που αφορούσαν συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα χαμηλότερη από 405 ppm, φαίνεται να μην ακολουθούσαν κάποιο μοντέλο. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν 21%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 410 ppm - 425 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

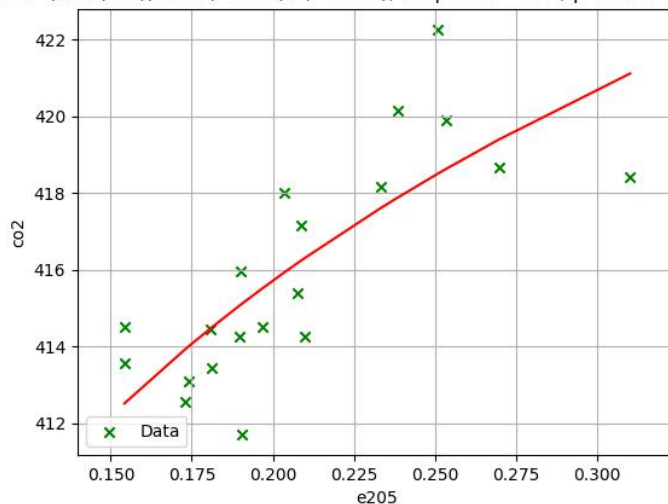
Τα δεδομένα σε αυτό το διάστημα, φαίνεται ότι είχαν τάση συσχέτισης. Η μέγιστη τιμή R^2 ήταν 61 % και παρατηρήθηκε στη συσχέτιση των δεικτών e205 και e208 (εικόνα 15). 92 συσχετίσεις παρουσίασαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Στον πίνακα 52 καταγράφονται οι συσχετίσεις με $R^2 \geq 60\%$.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.60	0.01	$e05=(EB1+EB3-EB4)/EB1$
lin	0.60	0.01	$e05=(EB1+EB3-EB4)/EB1$
exp	0.60	0.01	$e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1$
lin	0.60	0.01	$e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1$
log	0.60	0.01	$e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1$
exp	0.60	0.01	$e105=\exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)$
lin	0.60	0.01	$e105=\exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)$
log	0.60	0.01	$e105=\exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)$
log	0.60	0.01	$e108=\exp((EB1+EB4-EB3)/EB1)$
exp	0.60	0.01	$e208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)$
lin	0.60	0.01	$e208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)$

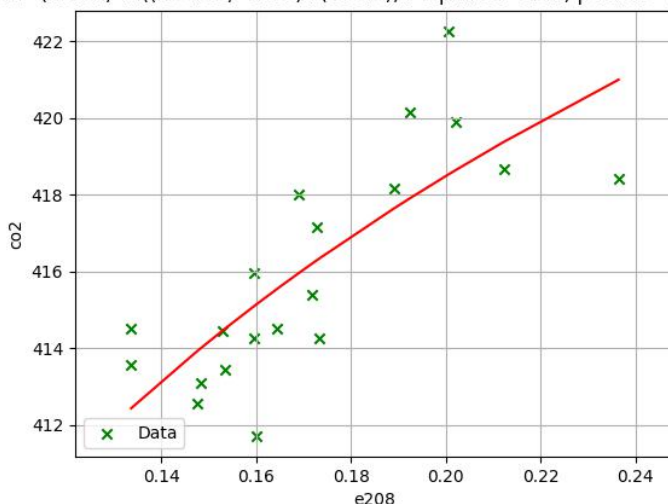
log	0.61	0.01	$e_{205} = \ln((EB1 + EB3 - EB4)/EB1)$
log	0.61	0.01	$e_{208} = \ln((EB1 + EB4 - EB3)/EB1)$

Πίνακας 52: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, χωρίς συντελεστή εκπομπής

$co_2 = (12.3) * \ln((26.07) * e_{205}) + (395.39)$, $r\text{-squared} = 0.61$; $p\text{-value} = 0.005...%$



$co_2 = (15.01) * \ln((124.85) * e_{208}) + (370.2)$, $r\text{-squared} = 0.61$; $p\text{-value} = 0.005...%$



Εικόνα 15: Διαγράμματα λογαριθμικού μοντέλου συσχέτισης των δεικτών e_{205} και e_{208}

- Για το σύνολο των δεδομένων (40 εγγραφές, 395 ppm - 425 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Τα αποτελέσματα του συνόλου των δεδομένων κυμάνθηκαν στα ίδια πλαίσια με την αντίστοιχη περίπτωση χωρίς τη χρήση του συντελεστή εκπομπής των καναλιών. Η ψηλότερη τιμή R^2 ήταν 45%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 395 ppm - 405 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Τα δεδομένα που αφορούσαν συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα χαμηλότερη από 405 ppm, δεν φάνηκε να ακολουθούν κάποιο μοντέλο. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε είναι 21%, όπως και στην αντίστοιχη

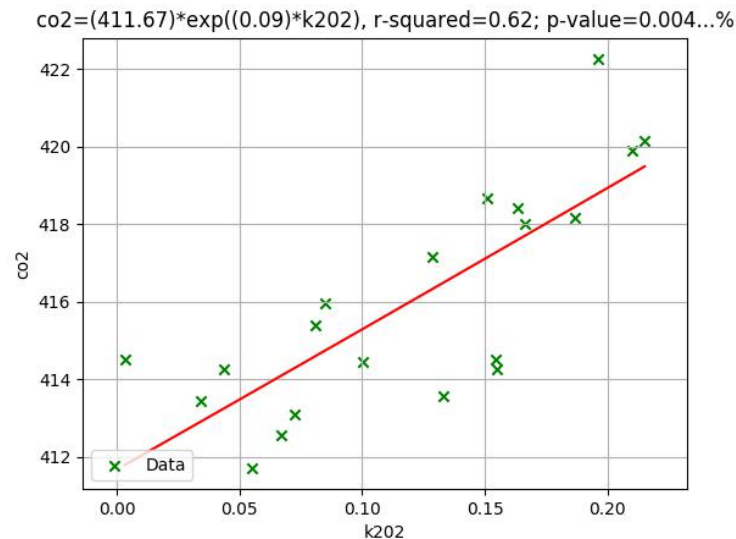
περίπτωση χωρίς το συντελεστή εκπομπής.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 410 ppm - 425 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Σε αυτή την ομαδοποίηση, 108 συσχετίσεις είχαν τιμή $R^2 \geq 50\%$, 16 περισσότερες από την περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Ο δείκτης k202 παρουσίασε εκθετική συσχέτιση με τα δεδομένα ελέγχου με τιμή $R^2 = 62\%$ (διάγραμμα 34). Στους δείκτες που χωρίς τον συντελεστή εκπομπής η τιμή R^2 ξεπέρασε το 60%, παρατηρήθηκε μείωση της τιμής αυτής, ενώ εμφανίστηκαν νέοι δείκτες με $R^2 \geq 60\%$ (πίνακας 53).

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.55	0.02	e208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)
exp	0.56	0.02	e05=(EB1+EB3-EB4)/EB1
lin	0.56	0.02	e05=(EB1+EB3-EB4)/EB1
exp	0.56	0.02	e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1
lin	0.56	0.02	e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1
log	0.56	0.01	e08=(EB1+EB4-EB3)/EB1
exp	0.56	0.01	e105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)
lin	0.56	0.01	e105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)
log	0.56	0.02	e105=exp((EB1+EB3-EB4)/EB1)
log	0.56	0.02	e108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB1)
log	0.56	0.02	e205=ln((EB1+EB3-EB4)/EB1)
exp	0.56	0.01	e208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)
lin	0.56	0.01	e208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB1)
exp	0.60	0.01	k203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB3)
lin	0.60	0.01	k203=ln((EB1+EB2-EB5)/EB3)
lin	0.61	0.00	k202=ln((EB1+EB2-EB4)/EB3)
exp	0.61	0.01	s201=ln((EB1+EB2-EB3)/EB5)
lin	0.61	0.01	s201=ln((EB1+EB2-EB3)/EB5)
exp	0.62	0.00	k202=ln((EB1+EB2-EB4)/EB3)

Πίνακας 53: Συσχετίσεις σταθμού Monte Cimone, με συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 34: Εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k202

Σταθμός CAPO GRANITOLA

- Για το σύνολο των δεδομένων (18 εγγραφές, 393 ppm - 435 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στο σύνολο δεδομένων μονοξειδίου του άνθρακα του σταθμού Capo Granitola, δεν παρατηρήθηκε υψηλή συσχέτιση. Η μέγιστη τιμή R^2 που παρατηρήθηκε ήταν 43% και αφορούσε τον δείκτη t227.

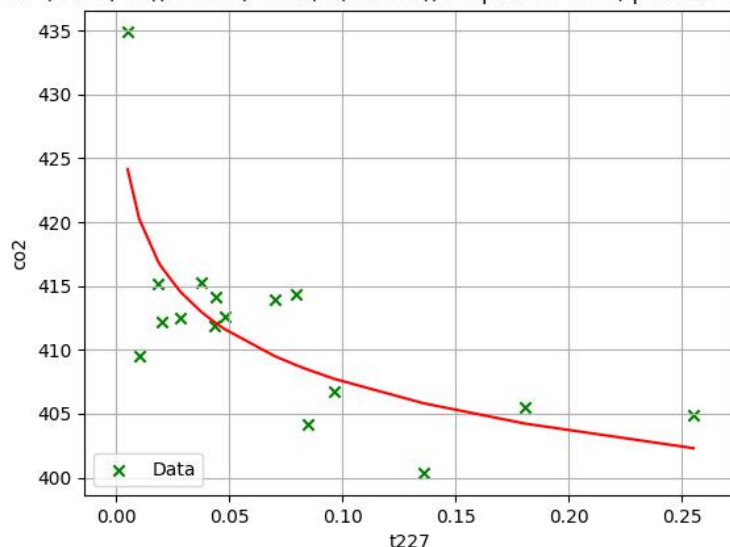
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (16 εγγραφές, 400 ppm - 435 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα δεδομένων συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα 400 ppm έως 435 ppm, 8 δείκτες είχαν τιμή $R^2 \geq 50\%$ (πίνακας 54). Όλες οι συσχετίσεις με $R^2 \geq 50\%$ προέκυψαν με λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης. Η μέγιστη τιμή εμφανίστηκε για τον δείκτη t227 και ήταν 58% (διάγραμμα 35).

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.52	0.15	$e206=\ln((EB1+EB3-EB5)/EB1)$
log	0.52	0.17	$i215=\ln((EB2+EB3-EB5)/EB2)$
log	0.54	0.11	$t224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB4)$
log	0.56	0.08	$d9=(abs(EB3-EB5))/(EB3+EB5)$
log	0.56	0.08	$d119=\ln(EB3/EB5)$
log	0.56	0.09	$i220=\ln((EB2+EB5-EB3)/EB2)$
log	0.57	0.07	$e211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB1)$
log	0.58	0.07	$t227=\ln((EB4+EB5-EB3)/EB4)$

Πίνακας 54: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, χωρίς συντελεστή εκπομπής

$$co2 = (-5.58) * \ln((336.46) * t227) + (427.14), r\text{-squared} = 0.58; p\text{-value} = 0.066...$$



Διάγραμμα 35: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη t227

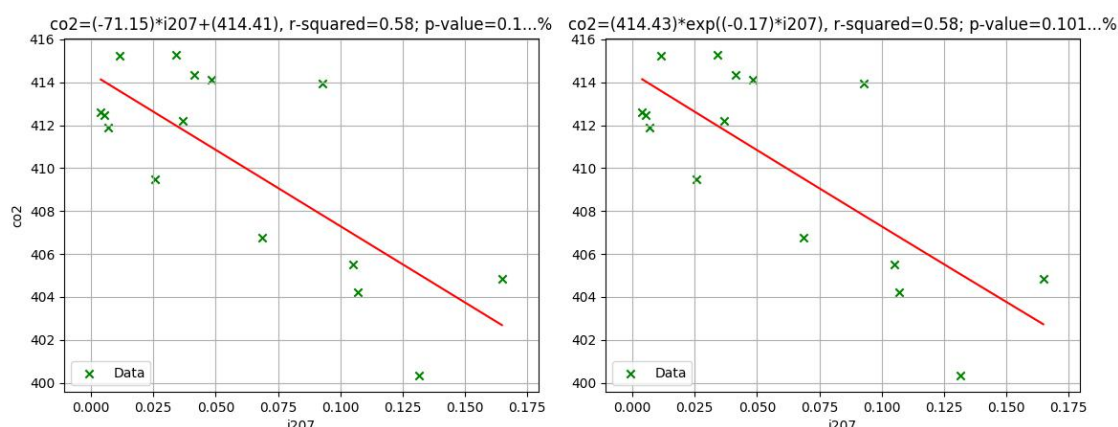
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (15 εγγραφές, 400 ppm - 415 ppm) - χωρίς συντελεστή εκπομπής

Στην δοκιμή που πραγματοποιήθηκε για το διάστημα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα 400 ppm έως 415 ppm, η τιμή R^2 παρέμεινε στο 58%, ωστόσο περισσότεροι δείκτες φαίνεται να ξεπέρασαν το κατώφλι του 50%. Στον πίνακα 55 καταγράφονται αυτοί οι δείκτες. Η καλύτερη συσχέτιση παρατηρήθηκε για τον δείκτη i207. Δείκτης και δεδομένα ελέγχου συσχετίστηκαν μέσω γραμμικού και εκθετικού μοντέλου (διάγραμμα 36).

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.30	i208= $\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
lin	0.50	0.30	i208= $\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.51	0.27	k207= $\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
lin	0.51	0.27	k207= $\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
exp	0.52	0.25	e210= $\ln((EB1+EB5-EB2)/EB1)$
lin	0.52	0.26	e210= $\ln((EB1+EB5-EB2)/EB1)$
exp	0.53	0.21	e215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)$
lin	0.53	0.21	e215= $\ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)$
exp	0.53	0.22	i210= $\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
lin	0.53	0.22	i210= $\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
exp	0.53	0.20	k211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$
lin	0.53	0.20	k211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$
exp	0.54	0.17	i211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
lin	0.54	0.17	i211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$

exp	0.54	0.19	$k_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_3)$
lin	0.54	0.19	$k_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_3)$
exp	0.54	0.19	$s_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_5)$
lin	0.54	0.19	$s_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_5)$
lin	0.54	0.17	$s_{224}=\ln((EB_3+EB_4-EB_5)/EB_5)$
exp	0.54	0.19	$t_{226}=\ln((EB_4+EB_5-EB_2)/EB_4)$
lin	0.54	0.19	$t_{226}=\ln((EB_4+EB_5-EB_2)/EB_4)$
exp	0.55	0.17	$s_{218}=\ln((EB_2+EB_4-EB_5)/EB_5)$
lin	0.55	0.17	$s_{218}=\ln((EB_2+EB_4-EB_5)/EB_5)$
exp	0.55	0.17	$s_{224}=\ln((EB_3+EB_4-EB_5)/EB_5)$
exp	0.58	0.10	$i_{207}=\ln((EB_1+EB_4-EB_2)/EB_2)$
lin	0.58	0.10	$i_{207}=\ln((EB_1+EB_4-EB_2)/EB_2)$

Πίνακας 55: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, χωρίς συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 36: Γραμμικό και εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη i207

- Για το σύνολο των δεδομένων (18 εγγραφές, 393 ppm - 435 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

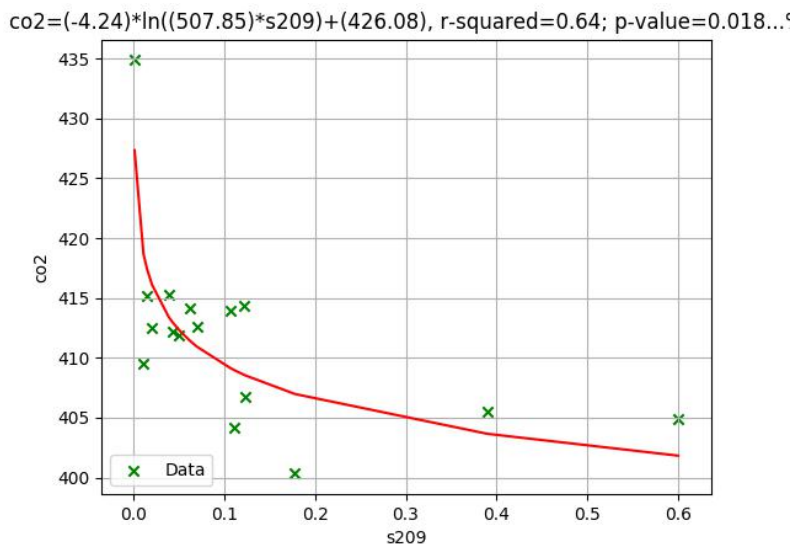
Παρόμοιο ήταν το αποτέλεσμα και για το σύνολο των δεδομένων όπου λήφθηκε υπόψη ο συντελεστής εκπομπής. Κανενός δείκτη η τιμή R^2 δεν ξεπέρασε το 50% , ωστόσο η τιμή R^2 ενός δείκτη έφτασε το 48%. Αυτή η συσχέτιση προέκυψε για το λογαριθμικό μοντέλο του δείκτη s209.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (16 εγγραφές, 400 ppm - 435 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Στο διάστημα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα 400 ppm έως 435 ppm, η τιμή R^2 του δείκτη s209, έφτασε το 64%. Αυτός ο δείκτης ήταν ο μοναδικός που η συσχέτισή του ξεπέρασε το 50%. Στον πίνακα 56 φαίνονται τα στοιχεία της συσχέτισης και στο διάγραμμα 37, απεικονίζεται το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.64	0.02	$s209=\ln((EB1+EB4-EB5)/EB5)$

Πίνακας 56: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, με συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 37: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη s209

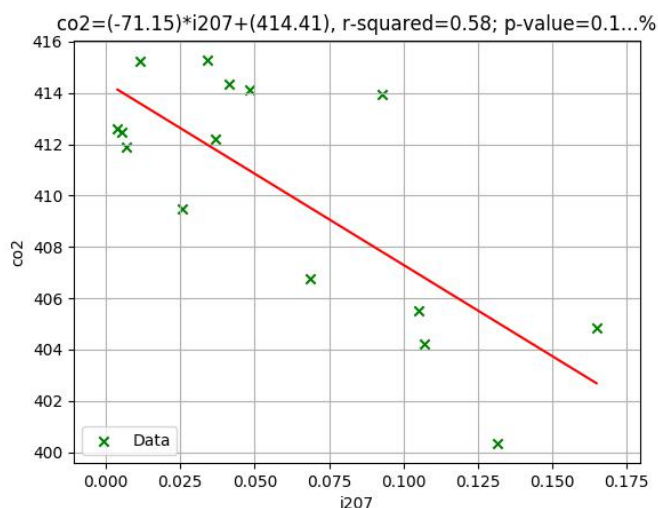
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (15 εγγραφές, 400 ppm - 415 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Για το διάστημα συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα από 400 ppm έως 415 ppm, πιο πολλές συσχετίσεις παρουσίασαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Όπως φαίνεται και στον πίνακα 57, η μέγιστη τιμή έφτασε 58%. Στο διάγραμμα 38 παρουσιάζεται το γραμμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη i207.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.50	0.30	$i208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.50	0.34	$t226=\ln((EB4+EB5-EB2)/EB4)$
lin	0.50	0.30	$i208=\ln((EB1+EB4-EB3)/EB2)$
exp	0.51	0.27	$k207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
lin	0.51	0.27	$k207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB3)$
exp	0.53	0.21	$e215=\ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)$
lin	0.53	0.21	$e215=\ln((EB2+EB3-EB5)/EB1)$
exp	0.53	0.20	$s218=\ln((EB2+EB4-EB5)/EB5)$
lin	0.53	0.20	$s218=\ln((EB2+EB4-EB5)/EB5)$
exp	0.53	0.21	$s224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)$
lin	0.53	0.22	$s224=\ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)$
exp	0.56	0.14	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$

lin	0.56	0.14	$i210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
exp	0.56	0.13	$k211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$
lin	0.56	0.13	$k211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$
exp	0.56	0.13	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$
lin	0.56	0.13	$s213=\ln((EB2+EB3-EB1)/EB5)$
exp	0.57	0.12	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
lin	0.57	0.11	$i211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB2)$
exp	0.57	0.12	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
lin	0.57	0.12	$k210=\ln((EB1+EB5-EB2)/EB3)$
exp	0.58	0.10	$i207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$
lin	0.58	0.10	$i207=\ln((EB1+EB4-EB2)/EB2)$

Πίνακας 57: Συσχετίσεις σταθμού Capo Granitola, με συντελεστή εκπομπής

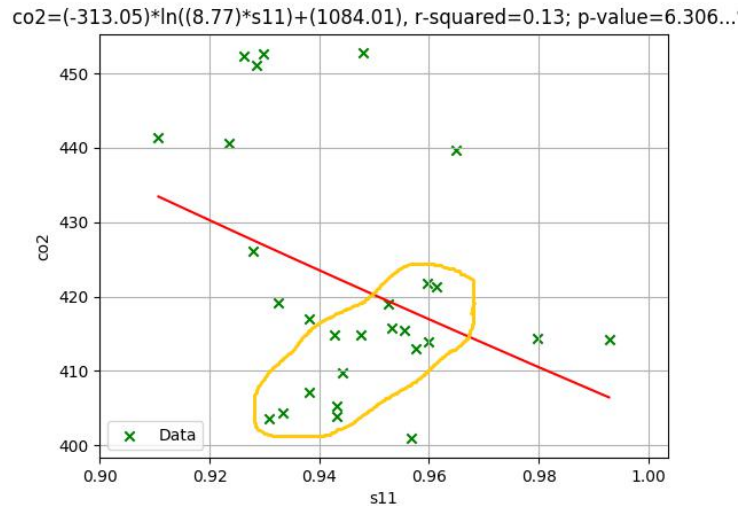


Διάγραμμα 38: Γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη i207

Σταθμός LAMEZIA TERME

- Για το σύνολο των δεδομένων (28 εγγραφές, 400 ppm - 450 ppm) - χωρίς συντελεστή

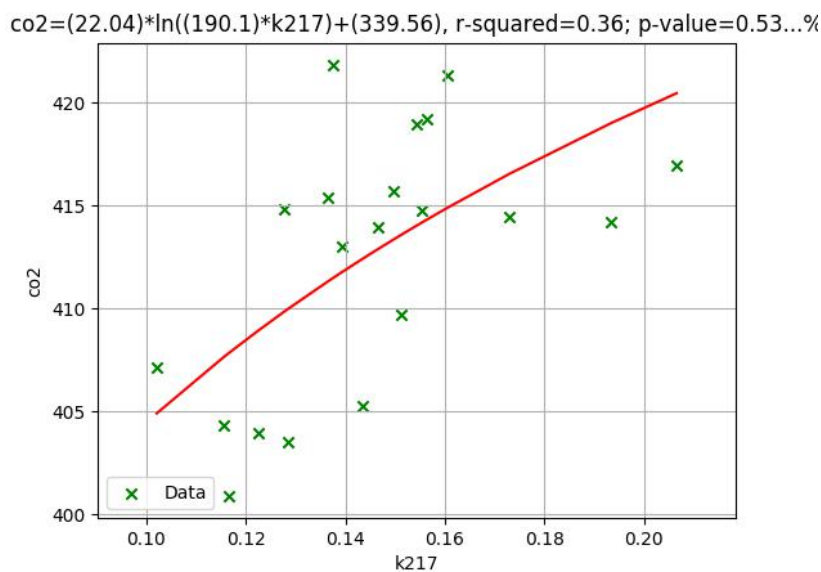
Αρχικά εξετάστηκε το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων για το διοξείδιο του άνθρακα. Το εύρος συγκέντρωσης κυμάνθηκε από 400 ppm έως 450 ppm, αλλά όπως φαίνεται στο διάγραμμα 39 τα περισσότερα δεδομένα αφορούσαν το διάστημα 400 ppm έως 425 ppm. Επίσης στο διάγραμμα φαίνεται ότι κάποια δεδομένα είχαν διάταξη που θα μπορούσε να οδηγήσει σε συσχέτιση, ωστόσο υπήρχαν στοιχεία που ήταν τυχαία κατανομημένα έτσι τελικά προέκυψε πολύ χαμηλή τιμή R^2 . Ο μικρός αριθμός δεδομένων που ήταν διαθέσιμα, δεν επέτρεπε να εξαχθεί ασφαλές συμπέρασμα ότι ορισμένα δεδομένα προήλθαν από λάθος ώστε να απομακρύνονταν. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε είναι 13%.



Διάγραμμα 39: Διασπορά συνόλου δεδομένων σταθμού Lamezia Terme, χωρίς συντελεστή εκπομπής

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 400 ppm - 425 ppm) - χωρίς συντελεστή

Βελτιωμένο ήταν το αποτέλεσμα των συσχετίσεων για το διάστημα 400 ppm έως 425 ppm, ωστόσο δεν υπήρχε κάποιος δείκτης με τιμή R^2 που να ξεπερνούσε το 40%. Στο διάγραμμα 39, φαίνεται το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη k_{217} .



Διάγραμμα 40: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k_{217}

- Για το σύνολο των δεδομένων (28 εγγραφές, 400 ppm - 450 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Αντίστοιχο ήταν το αποτέλεσμα των συσχετίσεων που προέκυψε για το σύνολο των δεδομένων με τη χρήση συντελεστή εκπομπής. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν 13%.

- Μέρος του συνόλου δεδομένων (20 εγγραφές, 400 ppm - 425 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Στην δοκιμή που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών, δεν παρατηρήθηκε καμιά βελτίωση στις συσχετίσεις. Και σε αυτή την περίπτωση η μέγιστη τιμή R^2 παρατηρήθηκε για τον δείκτη k217 και ήταν 36%.

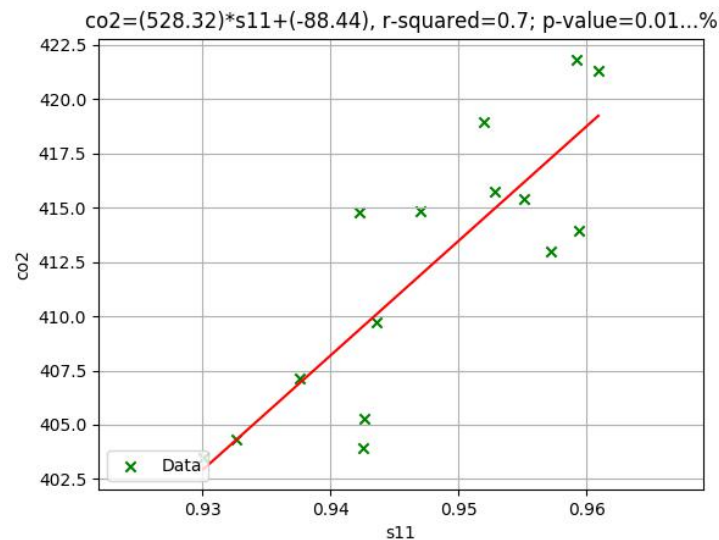
- Μέρος του συνόλου δεδομένων (15 εγγραφές, * 400 ppm - 425 ppm) - με συντελεστή εκπομπής

Πραγματοποιήθηκε μια επιπλέον δοκιμή για το διάστημα 400 ppm έως 425 ppm, όπου απομακρύνθηκαν 5 εγγραφές που πιθανόν να προήλθαν από λάθος μετρήσεις. 130 συσχετίσεις παρουσίασαν τιμή $R^2 \geq 50\%$. Η μέγιστη τιμή R^2 που καταγράφηκε ήταν 70%. Στον πίνακα 58, καταγράφηκαν οι συσχετίσεις με τις υψηλότερες τιμές R^2 . Στο διάγραμμα 41 απεικονίζεται το γραμμικό μοντέλο συσχέτισης του δείκτη s11.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.68	0.02	t08=(EB1+EB4-EB3)/EB4
lin	0.68	0.02	t08=(EB1+EB4-EB3)/EB4
log	0.68	0.02	t08=(EB1+EB4-EB3)/EB4
exp	0.68	0.02	t108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB4)
lin	0.68	0.02	t108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB4)
log	0.68	0.02	t108=exp((EB1+EB4-EB3)/EB4)
exp	0.68	0.02	t122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB4)
lin	0.68	0.02	t122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB4)
log	0.68	0.02	t122=exp((EB3+EB4-EB1)/EB4)
exp	0.68	0.02	t208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB4)
lin	0.68	0.02	t208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB4)
log	0.68	0.02	t208=ln((EB1+EB4-EB3)/EB4)
exp	0.68	0.02	t22=(EB3+EB4-EB1)/EB4
lin	0.68	0.02	t22=(EB3+EB4-EB1)/EB4
log	0.68	0.02	t22=(EB3+EB4-EB1)/EB4
exp	0.68	0.02	t222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB4)
lin	0.68	0.02	t222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB4)
log	0.68	0.02	t222=ln((EB3+EB4-EB1)/EB4)
exp	0.70	0.01	s11=(EB1+EB5-EB3)/EB5
lin	0.70	0.01	s11=(EB1+EB5-EB3)/EB5
log	0.70	0.01	s11=(EB1+EB5-EB3)/EB5
exp	0.70	0.01	s111=exp((EB1+EB5-EB3)/EB5)

lin	0.70	0.01	$s111=\exp((EB1+EB5-EB3)/EB5)$
log	0.70	0.01	$s111=\exp((EB1+EB5-EB3)/EB5)$
exp	0.70	0.01	$s211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB5)$
lin	0.70	0.01	$s211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB5)$
log	0.70	0.01	$s211=\ln((EB1+EB5-EB3)/EB5)$

Πίνακας 58: Συσχετίσεις σταθμού Lamezia Terme, με συντελεστή εκπομπής



Διάγραμμα 41: Γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη s11

Σταθμοί CAPO GRANITOLA και LAMEZIA TERME

- Για το σύνολο δεδομένων (27 εγγραφές, 400 ppm - 420 ppm)

Τα δεδομένα των σταθμών Capo Granitola και Lamezia Terme, δεν παρουσίασαν σημαντική συσχέτιση με τις επίγειες μετρήσεις. Ο δείκτης k217 που ήταν συνδιασμός των καναλιών b2-b3-b4, παρουσίασε τη μέγιστη τιμή R^2 .

Σταθμοί LECCE και CAPO GRANITOLA

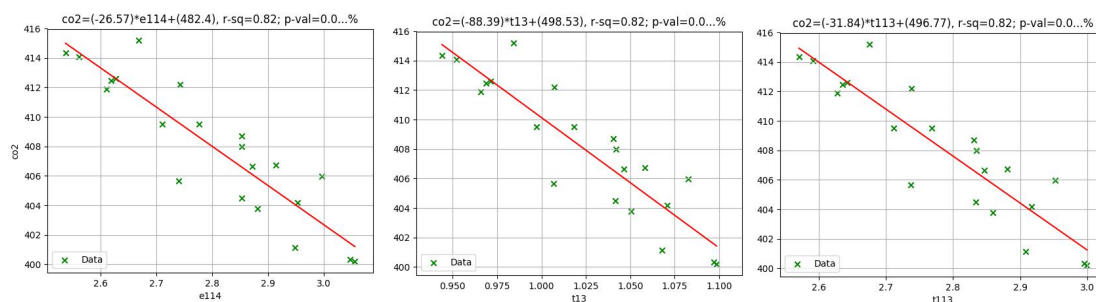
- Σύνολο δεδομένων (21 εγγραφές, 400 ppm - 416 ppm)

Ο συνδιασμός των δεδομένων των σταθμών Lecce και Capo Granitola, έδειξε ότι υπάρχει συσχέτιση μεταξύ επίγειων μετρήσεων και τηλεπισκοπικών δεικτών. 920 δοκιμές παρουσίασαν τιμή $R^2 \geq 75\%$. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 82%. Στον πίνακα 59 καταγράφηκαν οι συσχετίσεις με τιμή R^2 ίση με 82%. Στην εικόνα 16 παρουσιάζονται κατά σειρά τα διαγράμματα συσχέτισης των δεικτών e114, t13 και t113.

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.82	0.00	$e114=\exp((EB2+EB3-EB4)/EB1)$
exp	0.82	0.00	$t113=\exp((EB2+EB3-EB1)/EB4)$
lin	0.82	0.00	$e114=\exp((EB2+EB3-EB4)/EB1)$

lin	0.82	0.00	$t_{113}=\exp((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_4)$
lin	0.82	0.00	$t_{13}=(EB_2+EB_3-EB_1)/EB_4$
log	0.82	0.00	$d_{118}=\ln(EB_3/EB_4)$
log	0.82	0.00	$d_8=(\text{abs}(EB_3-EB_4))/(EB_3+EB_4)$
log	0.82	0.00	$e_{205}=\ln((EB_1+EB_3-EB_4)/EB_1)$
log	0.82	0.00	$e_{208}=\ln((EB_1+EB_4-EB_3)/EB_1)$
log	0.82	0.00	$i_{214}=\ln((EB_2+EB_3-EB_4)/EB_2)$
log	0.82	0.00	$i_{217}=\ln((EB_2+EB_4-EB_3)/EB_2)$
log	0.82	0.00	$s_{227}=\ln((EB_4+EB_5-EB_3)/EB_5)$
log	0.82	0.00	$t_{113}=\exp((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_4)$
log	0.82	0.00	$t_{214}=\ln((EB_2+EB_3-EB_4)/EB_4)$

Πίνακας 59: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Capo Granitola



Εικόνα 16: Γραμμικά μοντέλα συσχέτιση των δεκτών e114, t13 και t113, κατά σειρά

Σταθμοί LECCE και LAMEZIA TERME

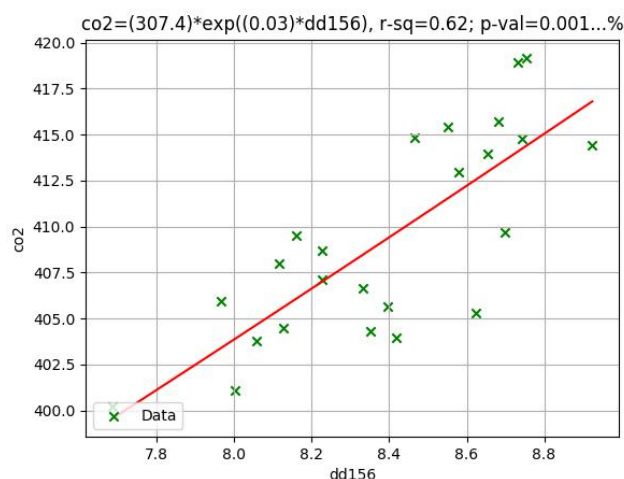
➤ Για το σύνολο δεδομένων (24 εγγραφές, 400 ppm - 420 ppm)

Για το σύνολο δεδομένων των σταθμών Lecce και Lamezia Terme, 850 δοκιμές είχαν τιμή $R^2 \geq 50\%$, από τις οποίες 33 ξεπερνούσαν το 60%. Όλοι οι δείκτες που συσχετιζόνταν με τιμή R^2 μεγαλύτερη από 60% ήταν συνδιασμοί των καναλιών b2-b3-b4. Οι δείκτες με την μεγαλύτερη τιμή R^2 ήταν οι dd156 και k117, με 62% (διαγράμματα 42 και 43).

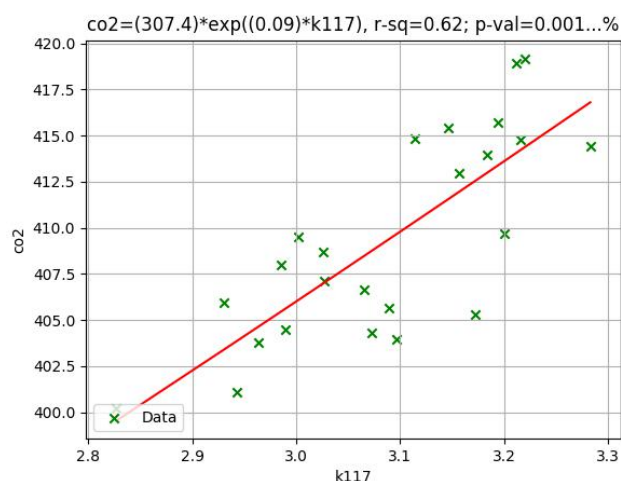
Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
exp	0.61	0.00	$d_{156}=\exp(EB_3/(EB_2+EB_4))$
lin	0.61	0.00	$d_{156}=\exp(EB_3/(EB_2+EB_4))$
log	0.61	0.00	$d_{156}=\exp(EB_3/(EB_2+EB_4))$
exp	0.61	0.00	$d_{256}=\ln(EB_3/(EB_2+EB_4))$
lin	0.61	0.00	$d_{256}=\ln(EB_3/(EB_2+EB_4))$
exp	0.61	0.00	$d_{56}=EB_3/(EB_2+EB_4)$

lin	0.61	0.00	$d56=EB3/(EB2+EB4)$
log	0.61	0.00	$d56=EB3/(EB2+EB4)$
exp	0.61	0.00	$dd07=EB3/(EB2+EB3+EB4)$
lin	0.61	0.00	$dd07=EB3/(EB2+EB3+EB4)$
log	0.61	0.00	$dd07=EB3/(EB2+EB3+EB4)$
exp	0.61	0.00	$dd107=\exp(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
lin	0.61	0.00	$dd107=\exp(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
log	0.61	0.00	$dd107=\exp(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
lin	0.61	0.00	$dd156=\exp((EB2+EB4)/EB3)$
log	0.61	0.00	$dd156=\exp((EB2+EB4)/EB3)$
exp	0.61	0.00	$dd207=\ln(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
lin	0.61	0.00	$dd207=\ln(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
log	0.61	0.00	$dd207=\ln(EB3/(EB2+EB3+EB4))$
exp	0.61	0.00	$dd256=\ln((EB2+EB4)/EB3)$
lin	0.61	0.00	$dd256=\ln((EB2+EB4)/EB3)$
exp	0.61	0.00	$dd56=(EB2+EB4)/EB3$
lin	0.61	0.00	$dd56=(EB2+EB4)/EB3$
log	0.61	0.00	$dd56=(EB2+EB4)/EB3$
lin	0.61	0.00	$k117=\exp((EB2+EB4-EB3)/EB3)$
log	0.61	0.00	$k117=\exp((EB2+EB4-EB3)/EB3)$
exp	0.61	0.00	$k17=(EB2+EB4-EB3)/EB3$
lin	0.61	0.00	$k17=(EB2+EB4-EB3)/EB3$
log	0.61	0.00	$k17=(EB2+EB4-EB3)/EB3$
exp	0.61	0.00	$k217=\ln((EB2+EB4-EB3)/EB3)$
lin	0.61	0.00	$k217=\ln((EB2+EB4-EB3)/EB3)$
exp	0.62	0.00	$dd156=\exp((EB2+EB4)/EB3)$
exp	0.62	0.00	$k117=\exp((EB2+EB4-EB3)/EB3)$

Πίνακας 6ο: Συσχετίσεις σταθμών Lecce και Lamezia Terme



Διάγραμμα 42: Εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη dd156



Διάγραμμα 43: Εκθετικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη k117

Σταθμοί LECCE - LAMEZIA TERME - CAPO GRANITOLA

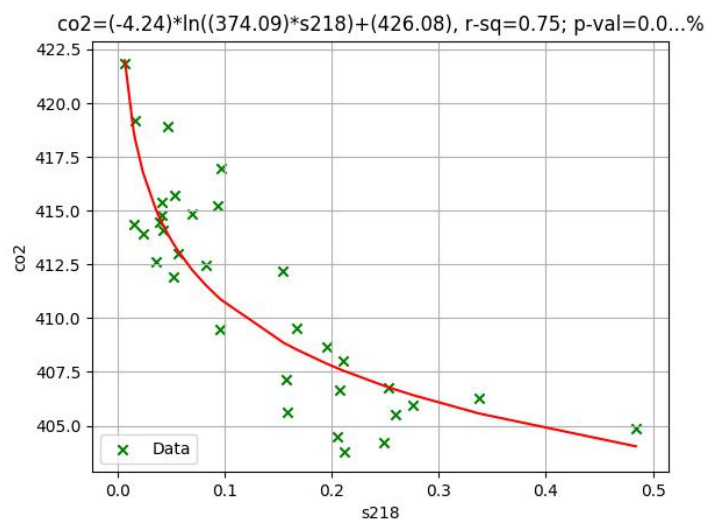
➤ Για το σύνολο δεδομένων (33 εγγραφές, 400 ppm - 425 ppm)

Πραγματοποιήθηκε δοκιμή για τα δεδομένα των 3 σταθμών που βρίσκονται στη Νότια Ιταλία, με πολύ καλό αποτέλεσμα. Η τιμή R^2 για 26 δοκιμές ξεπέρασε το 50%. Η μέγιστη τιμή R^2 έφτασε 75% για τον δείκτη s218. Στο διάγραμμα 43 απεικονίζεται το λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης μεταξύ δείκτη s218 και επίγειων μετρήσεων διοξειδίου του άνθρακα. Στον πίνακα 61 παρουσιάζονται οι συσχετίσεις με την ψηλότερη τιμή R^2 .

Μοντέλο συσχέτισης	R^2 (0-1)	P_value (%)	Δείκτης
log	0.54	0.00	i210= $\ln((EB1+EB5-EB2)/EB2)$
exp	0.61	0.00	s224= $\ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)$
lin	0.61	0.00	s224= $\ln((EB3+EB4-EB5)/EB5)$
exp	0.62	0.00	k211= $\ln((EB1+EB5-EB3)/EB3)$

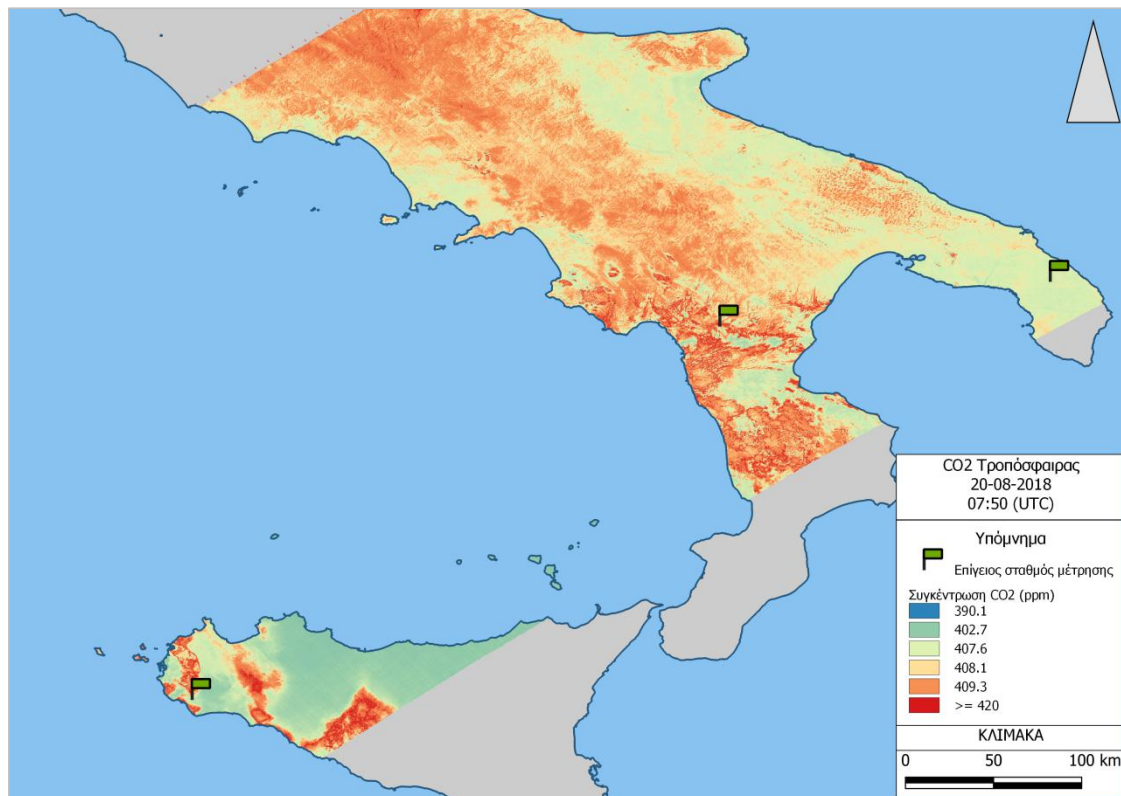
lin	0.62	0.00	$k_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_3)$
log	0.65	0.00	$s_{224}=\ln((EB_3+EB_4-EB_5)/EB_5)$
exp	0.66	0.00	$e_{215}=\ln((EB_2+EB_3-EB_5)/EB_1)$
lin	0.66	0.00	$e_{215}=\ln((EB_2+EB_3-EB_5)/EB_1)$
exp	0.67	0.00	$s_{218}=\ln((EB_2+EB_4-EB_5)/EB_5)$
lin	0.67	0.00	$s_{218}=\ln((EB_2+EB_4-EB_5)/EB_5)$
log	0.73	0.00	$e_{215}=\ln((EB_2+EB_3-EB_5)/EB_1)$
exp	0.73	0.00	$i_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_2)$
lin	0.73	0.00	$i_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_2)$
log	0.73	0.00	$s_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_5)$
exp	0.74	0.00	$i_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_2)$
lin	0.74	0.00	$i_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_2)$
log	0.74	0.00	$i_{211}=\ln((EB_1+EB_5-EB_3)/EB_2)$
exp	0.74	0.00	$k_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_3)$
lin	0.74	0.00	$k_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_3)$
log	0.74	0.00	$k_{210}=\ln((EB_1+EB_5-EB_2)/EB_3)$
exp	0.74	0.00	$s_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_5)$
lin	0.74	0.00	$s_{213}=\ln((EB_2+EB_3-EB_1)/EB_5)$
log	0.75	0.00	$s_{218}=\ln((EB_2+EB_4-EB_5)/EB_5)$

Πίνακας 61: Συσχετίσεις σταθμών Lecce, Lamezia Terme και Capo Granitola



Διάγραμμα 44: Λογαριθμικό μοντέλο συσχέτισης δείκτη s₂₁₈

Βάση του μοντέλου εκτίμησης διοξειδίου του άνθρακα στο οποίο χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης s₂₁₈, κατασκευάστηκε ενδεικτικά ένας χάρτης συγκέντρωσης διοξειδίου του άνθρακα για την περιοχή της Νότιας Ιταλίας (χάρτης 4).



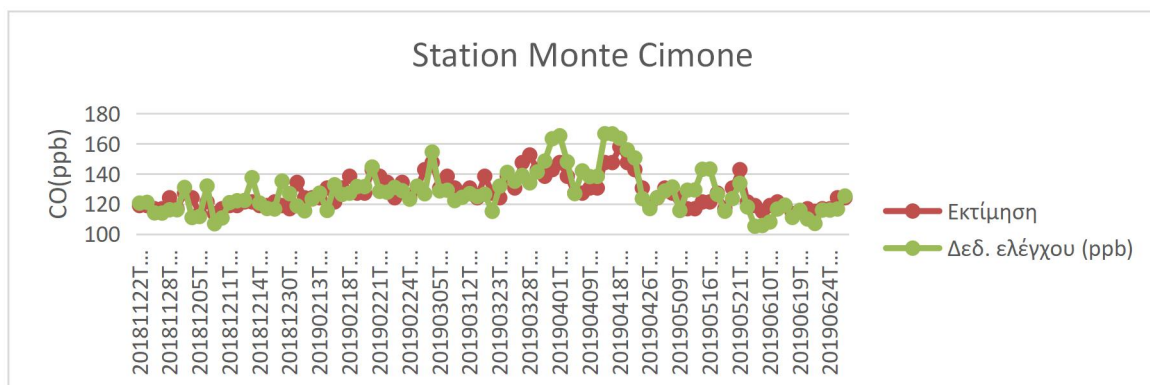
Χάρτης 4: Συγκέντρωση CO₂ στην τροπόσφαιρα στις 20-08-2018, στην περιοχή της Νότιας Ιταλίας

5.2 Δεδομένα Sentinel-5P και μοντέλα εκτίμησης CO

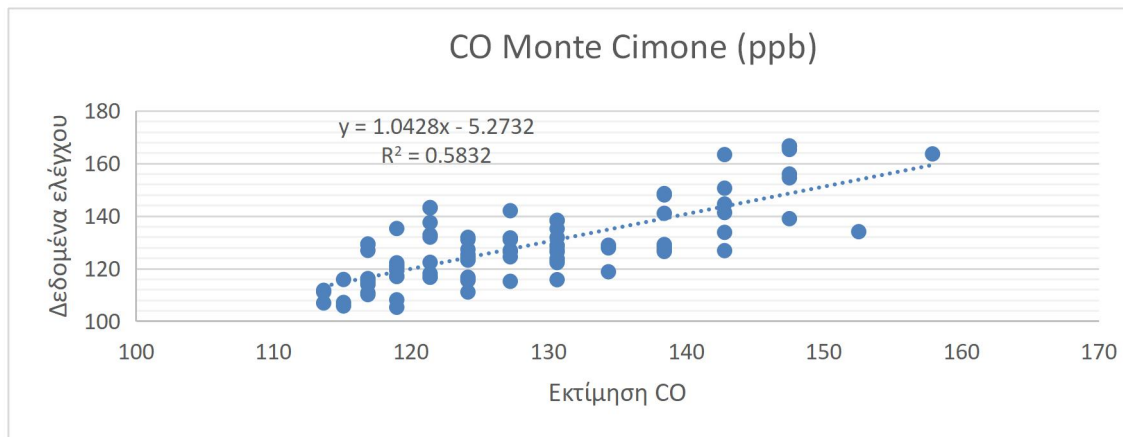
Σε αυτή την παράγραφο, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και η αξιολόγηση των βελτιωμένων μοντέλων εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας στις περιοχές των σταθμών Monte Cimone και Capo Granitola.

Σταθμός MONTE CIMONE

Στην περιοχή του σταθμού Monte Cimone, οι εκτιμώμενες τιμές CO προσαρμόστηκαν καλύτερα με τα δεδομένα του επίγειου σταθμού Monte Cimone. Στα διαγράμματα 45 και 46, φαίνεται η σχέση μεταξύ εκτίμησης και πραγματικών τιμών. Το RMS σφάλμα μεταξύ των τιμών ήταν 9.06 ppb.



Διάγραμμα 45: Εκτιμώμενες τιμές και δεδομένα ελέγχου CO κατά τη διάρκεια του χρόνου, σταθμός Monte Cimone



Διάγραμμα 46: Γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δεδομένων ελέγχου και εκτιμώμενης συγκέντρωσης CO

Το νέο μοντέλο εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα, εφαρμόστηκε για την εικόνα 'COPERNICUS/S5P/NRTI/L3_CO/20190303T120917_20190303T124755' στην πλατφόρμα 'Google Earth Engine'. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην εικόνα 17.

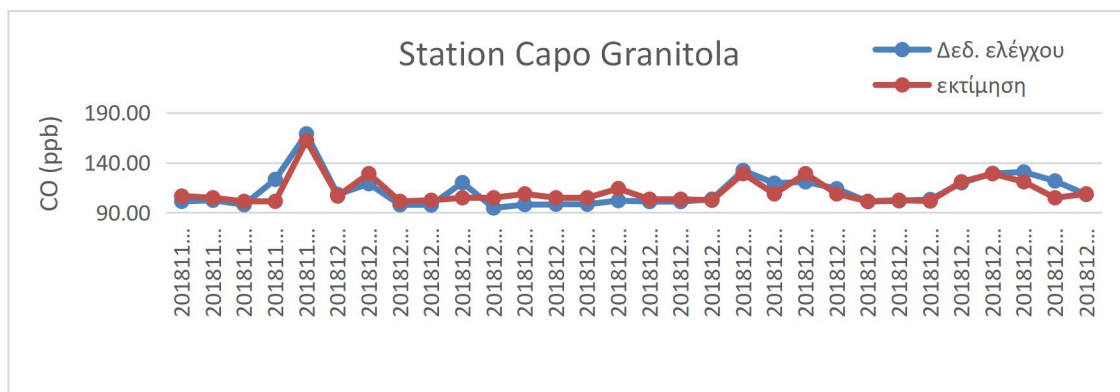


Εικόνα 17: Στιγμιότυπο από την πλατφόρμα 'Google Earth Engine', εκτίμηση CO μετά την εφαρμογή του μοντέλου για το σταθμό Monte Cimone

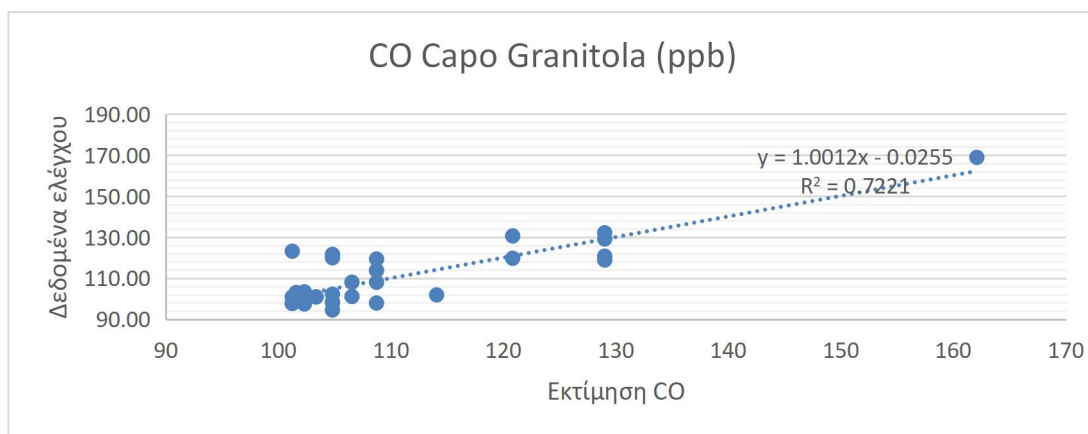
Σταθμός CAPO GRANITOLA

Αντίστοιχα στην περιοχή του σταθμού Capo Granitola, το μοντέλο που δημιουργήθηκε, βελτιώνει την εκτίμηση μονοξειδίου του άνθρακα. Στα διαγράμματα 47 και 48, παρουσιάζεται η συσχέτιση των δεδομένων ελέγχου με τις εκτιμώμενες τιμές. Η

γραμμική σχέση μεταξύ των δύο συνόλων δεδομένων είχε τιμή R^2 72%. Το σφάλμα RMS μεταξύ των τιμών ήταν 8.19 ppb.

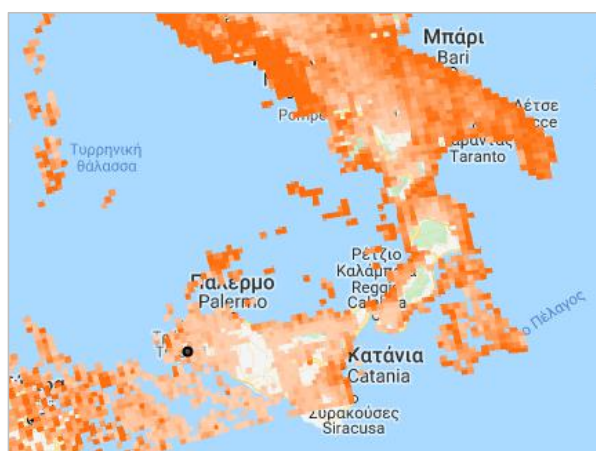


Διάγραμμα 47: Εκτιμώμενες τιμές και δεδομένα ελέγχου CO κατά τη διάρκεια του χρόνου, σταθμός Capo Granitola



Διάγραμμα 48: Γραμμικό μοντέλο συσχέτισης δεδομένων ελέγχου και εκτιμώμενης συγκέντρωσης CO

Στην εικόνα 18 παρουσιάζεται στιγμιότυπο από την πλατφόρμα ‘Google Earth Engine’, της εκτίμησης μονοξειδίου του άνθρακα από δεδομένα Sentinel-5P, για την περιοχή του σταθμού Capo Granitola.



Εικόνα 18: Στιγμιότυπο από την πλατφόρμα ‘Google Earth Engine’, εκτίμηση CO μετά την εφαρμογή του μοντέλου για το σταθμό Capo Granitola

6 Συμπεράσματα και προτάσεις

Σκοπός της εργασίας ήταν η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα δεδομένα ECOSTRESS και Sentinel-5P αναφορικά με την ποιότητα της ατμόσφαιρας. Εξετάστηκαν δείκτες και κανάλια των θερμικών εικόνων και αξιολογήθηκε το προϊόν μονοξειδίου του άνθρακα του δορυφόρου Sentinel-5P. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από το σύνολο των εργασιών και δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σχετικά με τα αποτελέσματα καθώς και η ανάγκη περαιτέρω ενασχόλησης με το συγκεκριμένο αντικείμενο.

6.1 Συμπεράσματα

Στην ενότητα αυτή αναφέρονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρατήρηση των αποτελεσμάτων των συσχετίσεων. Τα συμπεράσματα καταγράφονται ανά σταθμό, σε διαφορετική παράγραφο ανά ουσία. Επίσης στην τελευταία παράγραφο της ενότητας αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν.

6.1.1 Μεθάνιο

Σταθμός LECCE (URBAN)

- Παρατηρήθηκε μικρή αύξηση της τιμής R^2 , της τάξης των 2 ποσοστιαίων μονάδων στις δοκιμές που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής.
- Τα κανάλια b2 και b5 εμφανίζονταν πιο συχνά στους καλούς δείκτες.
- Οι δείκτες με την καλύτερη συσχέτιση ήταν οι t226 (b2-b4-b5) και e210 (b1-b2-b5).

Σταθμός MONTE CIMONE (GRASSLANDS)

- Χωρίς τη χρήση του συντελεστή εκπομπής, μόνο ο δείκτης k211 με τα κανάλια b1-b3-b5 είχε R^2 που ξεπερνούσε το 50%, για το διάστημα συγκέντρωσης 1930 ppb - 1955 ppb.
- Με τον συντελεστή εκπομπής για το διάστημα 1911 ppb - 1935 ppb, η συσχέτιση δεικτών που περιέχουν κυρίως τα κανάλια b3, b5 έφτασε το 50%.
- Για το διάστημα 1930 ppb - 1955 ppb, η τιμή R^2 του δείκτη k208 με τα κανάλια b1-b3-b4 έφτασε 73%.

Σταθμός CAPO GRANITOLA (URBAN)

- Χωρίς το συντελεστή εκπομπής, για το σύνολο δεδομένων, ο δείκτης με την καλύτερη τιμή R^2 ήταν ο i204 που περιλαμβάνει τα κανάλια b1-b2-b3, η τιμή ήταν 48%.
- Με τον συντελεστή εκπομπής για το σύνολο των δεδομένων, οι καλύτεροι δείκτες ήταν οι t212 (b1-b4-b5) και t221 (b2-b4-b5).

Σταθμός LAMEZIA TERME (BROAD LEAVED)

- Για το σύνολο των δεδομένων δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση με ή χωρίς τη χρήση του συντελεστή εκπομπής. Στους δείκτες συμμετείχαν κυρίως τα κανάλια b2, b3, b4. Δείκτες με την ψηλότερη τιμή R^2 , ήταν οι k216 (b1-b2-b3-b4) και k217 (b2-b3-b4).
- Για το διάστημα 1939 ppb - 2200 ppb, στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής, οι καλοί δείκτες περιλάμβαναν κυρίως τα κανάλια b2, b3, b4 και b5.
- Για το διάστημα 1939 ppb - 2200 ppb, με συντελεστή εκπομπής, οι καλοί δείκτες περιλάμβαναν κυρίως τα κανάλια b2, b4 και b5. Δείκτης με ψηλότερη τιμή R^2 ήταν ο t221 (b2-b4-b5).

Ομάδες σταθμών

Σταθμοί Capo Granitola και Lamezia Terme

- Ο δείκτης με την ψηλότερη συσχέτιση, ήταν ο dd201 που προέκυψε από συνδιασμό των καναλιών b3-b4-b5.
- Οι τιμές των καναλιών b1, b3, b4 και b5 παρουσίασαν συσχέτιση ($R^2 = 69\%$) με τις επίγειες μετρήσεις συγκέντρωσης μεθανίου.
- Οι συνδιασμοί καναλιών που χρησιμοποιήθηκαν στους καλύτερους δείκτες ήταν οι b3-b4-b5, b1-b2-b3-b4, b1-b2-b3-b5, b1-b2-b3-b4-b5.

Σταθμοί Lecce και Capo Granitola

- Πολλοί δείκτες παρουσίασαν την ψηλότερη τιμή R^2 . Οι συνδιασμοί καναλιών που παρατηρήθηκαν σε αυτούς τους δείκτες ήταν b1-b2, b1-b2-b3, b1-b2-b5.

Σταθμοί Lecce και Lamezia Terme

- Για το σύνολο δεδομένων, παρ' όλο που δεν παρατηρήθηκε τιμή R^2 μεγαλύτερη από 50%, οι δείκτες με την ψηλότερη συσχέτιση ήταν οι e120, i06 και k119 που ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b5.
- Για τους σταθμούς Lecce και Lamezia Terme, για μέρος των δεδομένων, οι δείκτες με την ψηλότερη τιμή R^2 , ήταν οι d96, d196 και d296, που ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b4. Άλλοι δείκτες με τιμή $R^2 \geq 60\%$ ήταν συνδιασμοί των ίδιων καναλιών και των καναλιών b2-b4-b5.
- Για το σύνολο των δεδομένων, ο δείκτης dd201, παρουσίασε την καλύτερη συσχέτιση. Ο δείκτης ήταν συνδιασμός των καναλιών b3, b4 και b5.

- Παρατηρήθηκε συσχέτιση των επίγειων δεδομένων και με μεμονωμένα κανάλια. Τα κανάλια ήταν τα b1, b3, b4 και b5 και παρουσίασαν τιμή R^2 ίση με 57%.

6.1.2 Μονοξείδιο του άνθρακα

Σταθμός LECCE (URBAN)

- Για το σύνολο δεδομένων (121 ppb - 215 ppb), όλοι οι δείκτες με καλή τιμή R^2 ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b5.
- Επίσης για το σύνολο των δεδομένων δεν παρατηρήθηκε διαφοροποίηση στις συσχετίσεις, με ή χωρίς τον συντελεστή εκπομπής.
- Ο καλύτερος δείκτης παρατηρήθηκε για το διάστημα συγκέντρωσης μονοξειδίου του άνθρακα 125 ppb έως 180 ppb, χωρίς τον συντελεστή εκπομπής και ήταν ο s203 (b1-b2-b5).
- Ο καλύτερος δείκτης με τον συντελεστή εκπομπής ήταν ο i226 (b2-b4-b5), επίσης αυτός ο δείκτης ήταν ο δεύτερος καλύτερος στην περίπτωση δοκιμών χωρίς συντελεστή εκπομπής.

Σταθμός MONTE CIMONE (GRASSLANDS)

- Σε όλους τους δείκτες με καλή τιμή R^2 χρησιμοποιήθηκε το κανάλι b5. Σχεδόν όλοι οι δείκτες περιείχαν το κανάλι b3 και συχνά εμφανιζόταν το κανάλι b1.
- Οι δείκτες με την πιο ψηλή τιμή R^2 , παρατηρήθηκαν στις δοκιμές χωρίς συντελεστή εκπομπής και ήταν οι e215, i211 και k210, οι οποίοι απετέλεσαν συνδιασμούς των καναλιών b1-b2-b3-b5.
- Οι δείκτες με τις καλύτερες τιμές R^2 , ήταν κυρίως συνδιασμοί τριών καναλιών στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής και τεσσάρων καναλιών στην αντίθετη περίπτωση.
- Στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής, καλύτερες συσχετίσεις προέκυψαν από τους δείκτες e206 και e211 (b1-b3-b5) και i220 (b2-b3-b5).

Σταθμός CAPO GRANITOLA (URBAN)

- Στους περισσότερους δείκτες συμμετείχε το κανάλι b3.
- Οι δείκτες που ήταν κοινοί στις δύο κατηγοριοποιήσεις από 100 ppb έως 135 ppb και από 135 ppb έως 182 ppb, ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b4 (i208, k207, e214, t213).
- Ο δείκτης t213= $\ln((EB2+EB3-EB1)/EB4)$ είχε την πιο ψηλή τιμή R^2 για το διάστημα 100 ppb έως 135 ppb και στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής και στην αντίθετη περίπτωση.

Σταθμός LAMEZIA TERME (BROAD LEAVED)

- Δεν παρατηρήθηκαν καλές συσχετίσεις, αλλά στους δείκτες που η τιμή πλησίαζε 50%, παρουσιάζονταν πάντα τα κανάλια b1 και b5.
- Οι καλύτεροι δείκτες ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b4- b5 (s07, s107, t19).

Ομάδες σταθμών

- Στους σταθμούς Lecce και Capo Granitola, οι δείκτες i226 και s203 παρουσίασαν τιμή R^2 μεγαλύτερη από 50%. Οι δείκτες περιείχαν τα κανάλια b2-b4-b5 και b1-b2-b5 αντίστοιχα.
- Για τους σταθμούς Lecce και Lamezia Terme, ο δείκτης t227 παρουσίασε την ψηλότερη τιμή R^2 . Ο δείκτης ήταν συνδιασμός των καναλιών b3-b4-b5. Τα κανάλια b3 και b5 εμφανίζονταν πιο συχνά στους καλύτερους δείκτες.

6.1.3 Διοξείδιο του άνθρακα

Σταθμός LECCE (URBAN)

- Εντοπίστηκαν περισσότεροι δείκτες με R^2 μεγαλύτερο του 50%, με χρήση του συντελεστή εκπομπής.
- Ο δείκτης i210 (b1-b2-b5) είχε την καλύτερη συσχέτιση με τα δεδομένα διοξειδίου του άνθρακα. Χωρίς τον συντελεστή εκπομπής, έφτασε το 62%, ενώ με τον συντελεστή το 66%.
- Σε όλους τους καλούς δείκτες συμμετείχε το κανάλι b5.
- Χωρίς τον συντελεστή εκπομπής οι περισσότεροι καλοί δείκτες ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b2-b3-b5. Οι δείκτες με τις ψηλότερες τιμές R^2 ήταν οι i210, i211, k210 και s213.
- Με τον συντελεστή εκπομπής εκτός από το κανάλι b5, συμμετείχε και το κανάλι b4 συχνά.

Σταθμός MONTE CIMONE (GRASSLANDS)

- Για το σύνολο των δεδομένων χωρίς συντελεστή εκπομπής οι δείκτες s27 και s127 είχαν τη μεγαλύτερη τιμή $R^2 = 46\%$ και ήταν συνδιασμοί των καναλιών b3-b4-b5, παρόμοιο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και με χρήση του συντελεστή εκπομπής.
- Υψηλότερες συσχετίσεις παρουσιάστηκαν στο διάστημα 410 ppm - 425 ppm. Ίδιοι δείκτες παρουσίασαν τις υψηλότερες συσχετίσεις και στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής και σε αυτήν που δεν χρησιμοποιήθηκε. Η τιμή R^2 είναι μεγαλύτερη στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής. Οι δείκτες ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b3-b4.
- Στην περίπτωση χρήσης του συντελεστή εκπομπής, οι υψηλότερες συσχετίσεις (61%-62%), παρατηρήθηκαν στους δείκτες s201 (b1-b2-b3-b5) και k202 (b1-b2-b3-b4).

- Στην περίπτωση που δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής, οι πιο ψηλές συσχετίσεις, παρατηρήθηκαν για τους δείκτες e205 και e208 που ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b3-b4.

Σταθμός CAPO GRANITOLA (URBAN)

- Χωρίς τον συντελεστή εκπομπής 8 δείκτες είχαν συσχέτιση με τιμή $R^2 > 50\%$. Ήταν συνδιασμοί 2 ή 3 καναλιών και όλοι περιλάμβαναν τα κανάλια b3 και b5.
- Χωρίς τον συντελεστή εκπομπής, ο δείκτης με την ψηλότερη τιμή R^2 ήταν ο t227 που ήταν συνδιασμός των καναλιών b3-b4-b5.
- Με χρήση του συντελεστή εκπομπής ο μοναδικός δείκτης με τιμή $R^2 > 50\%$, ήταν ο s209 που ήταν συνδιασμός των καναλιών b1-b4-b5.
- Για το διάστημα 400 ppm - 415ppm που άνηκαν τα περισσότερα δεδομένα, οι καλύτεροι δείκτες και οι συσχετίσεις τους ήταν παρόμοιοι με αυτούς που προέκυψαν και με τη χρήση του συντελεστή εκπομπής.
- Οι δείκτες στο διάστημα 400 ppm - 415 ppm, ήταν κυρίως συνδιασμοί τριών ή τεσσάρων καναλιών και σχεδόν όλοι περιείχαν το κανάλι b2. Επίσης συχνά χρησιμοποιόταν το κανάλι b5.
- Ο δείκτης με την καλύτερη τιμή συσχέτισης που παρατηρήθηκε ήταν ο i207 και ήταν συνδιασμός των καναλιών b1-b2-b4.

Σταθμός LAMEZIA TERME (BROAD LEAVED)

- Οι υψηλότερες τιμές R^2 παρατηρήθηκαν σε δείκτες που περιλάμβαναν τα κανάλια b1 και b3.
- Οι υψηλότερη τιμή R^2 εμφανίστηκε για τους δείκτες s11, s111 και s211 που ήταν ο δείκτης $[(b1+b5-b3)/b5]$, ο ίδιος δείκτης στην εκθετική μορφή καθώς και στην λογαριθμική μορφή. Η ίδια τιμή R^2 παρατηρήθηκε και στα 3 μοντέλα συσχέτισης των δεικτών.
- Η δεύτερη καλύτερη τιμή παρατηρήθηκε για δείκτες που ήταν συνδιασμοί των καναλιών b1-b3-b4.

Ομάδες σταθμών

- Ο δείκτης που παρουσίασε την ψηλότερη συσχέτιση με τα επίγεια δεδομένα των σταθμών Capo Granitola και Lamezia Terme ήταν ο k217 (b2-b3-b4), αλλά η τιμή R^2 , έφτασε μόλις 47%.
- Παρατηρήθηκαν ψηλές συσχετίσεις στα δεδομένα που αφορούσαν τους σταθμούς Lecce και Capo Granitola. Οι δείκτες με την ψηλότερη τιμή R^2 περιείχαν τα κανάλια b3 και b4, και ήταν συνδιασμοί των καναλιών b3-b4, b1-b3-b4, b2-b3-b4, b3-b4-b5, b1-b2-b3-b4.

- Όλοι οι δείκτες που αφορούσαν τους σταθμούς Lecce και Lamezia Terme και παρουσίασαν συσχέτιση με τιμή $R^2 \geq 60\%$, ήταν συνδιασμοί των καναλιών b2-b3-b4. Οι δείκτες με την μεγαλύτερη τιμή R^2 ήταν οι dd156 και k117, με 62%.
- Τα δεδομένα των τριών νότιων επίγειων σταθμών συσχετίζονταν καλύτερα με δείκτες που συμμετείχε το κανάλι b5. Στους δείκτες με $R^2 > 70\%$ συμμετείχαν πάντα τα κανάλια b2 και b5.

6.1.4 Γενικά συμπεράσματα

Σε αυτή την ενότητα αναφέρονται τα γενικά συμπεράσματα που προέκυψαν από τις διαδικασίες που ακολουθήθηκαν.

Θερμικά τηλεπισκοπικά δεδομένα

- Ο συνδιασμός των καναλιών b1-b2-b5, παρατηρήθηκε στους καλύτερους δείκτες και των τριών αερίων, στο σταθμό Lecce.
- Και στις τρεις περιπτώσεις αερίων για το σταθμό Lecce, το κανάλι b5 ήταν από τα κανάλια που εμφανίζονταν πιο συχνά στους καλούς δείκτες.
- Για το σταθμό Monte Cimone, ο συνδιασμός των καναλιών b1-b3-b5 παρατηρήθηκε στους δείκτες που συσχετίζονταν καλύτερα με το μεθάνιο και το μονοξείδιο του άνθρακα, ενώ ο συνδιασμός b1-b3-b4, παρατηρήθηκε στους δείκτες που συσχετίζονταν καλύτερα με το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα.
- Το κανάλι b3, παρατηρήθηκε συχνά στους καλύτερους δείκτες και των τριών αερίων του σταθμού Monte Cimone.
- Ο συνδιασμός των καναλιών b1-b4-b5, παρατηρήθηκε στους δείκτες καλύτερης συσχέτισης με το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα, στην περίπτωση που χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών, στο σταθμό Capo Granitola.
- Στο σταθμό Capo Granitola, το κανάλι b2 εμφανιζόταν συχνά στους καλύτερους δείκτες συσχέτισης και των τριών αερίων.
- Ο συνδιασμός καναλιών b1-b3-b5, παρατηρήθηκε στους δείκτες με καλύτερη συσχέτιση με το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα, στο σταθμό Lamezia Terme.
- Στον σταθμό Lamezia Terme, το κανάλι b1 χρησιμοποιήθηκε στους καλύτερους δείκτες συσχέτισης με το μονοξείδιο και το διοξείδιο του άνθρακα.
- Το κανάλι b5, εμφανιζόταν συχνά στους καλούς δείκτες συσχέτισης με το μονοξείδιο του άνθρακα, σε όλους τους σταθμούς, εκτός από το σταθμό Capo Granitola.
- Οι συσχετίσεις με το μεθάνιο, φαίνεται να έδωσαν ψηλότερες τιμές R^2 , όταν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών, στους τρεις από τους τέσσερις σταθμούς μελέτης (εκτός ο σταθμός Lecce).

- Οι συσχετίσεις με το μονοξείδιο του άνθρακα, φαίνεται να έδωσαν ψηλότερες τιμές R^2 , όταν δεν χρησιμοποιήθηκε ο συντελεστής εκπομπής των καναλιών, στους τρεις από τους τέσσερις σταθμούς μελέτης. Στο σταθμό Lecce, δεν φάνηκε να υπάρχει διαφορά με ή χωρίς τη χρήση του συντελεστή εκπομπής.
- Παρατηρήθηκαν μόνο κοινοί συνδιασμοί καναλιών μεταξύ σταθμών ή αερίων και όχι κοινοί δείκτες.
- Για συνδιασμούς σταθμών, οι ψηλότερες συσχετίσεις μεταξύ δεικτών και επίγειων δεδομένων, παρατηρήθηκαν για το μεθάνιο και το διοξείδιο του άνθρακα.
- Στους σταθμούς Lecce και Capo Granitola, τα κανάλια b2 και b4 συμμετείχε στους καλύτερους δείκτες και των τριών αερίων.
- Στους σταθμούς Lecce και Lamezia Terme, το κανάλι b3 συμμετείχε στους δείκτες με ψηλότερη συσχέτιση και στα τρία αέρια. Τα κανάλια b2, b3 και b4 συμμετείχαν στους δείκτες που συσχετίζονταν καλύτερα με τη συγκέντρωση μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα.
- Στους σταθμούς Capo Granitola και Lamezia Terme, η ψηλότερη συσχέτιση συγκέντρωσης μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, παρατηρήθηκε με δείκτες που ήταν συνδιασμός των καναλιών b3-b4-b5.
- Στους 3 σταθμούς της Νότιας Ιταλίας, η ψηλότερη συσχέτιση μεθανίου και διοξειδίου του άνθρακα, παρατηρήθηκε με δείκτες που περιέχουν τα κανάλια b4 και b5.

Στον πίνακα 62 καταγράφονται συνοπτικά τα γενικά συμπεράσματα ανά σταθμό.

Σταθμός Lecce (Urban)			
	CH ₄	CO	CO ₂
Καλύτερος συνδιασμός καναλιών:	• b1-b2-b5 και • b2-b4-b5	• b1-b2-b5(no em) • b2-b4-b5 (em)	• b1-b2-b5 • b1-b2-b3-b5
Κανάλια που εμφανίζονται πιο συχνά:	b2, b5	b1,b2,b3,b5	• b5 • b5,b4 (em)
Ψηλότερο R^2 με ή χωρίς συντελεστή εκπομπής:	Χωρίς	Ίδια	Με
Σταθμός Monte Cimone (Grassland)			
Καλύτερος συνδιασμός καναλιών:	• b1-b3-b5 • b1-b3-b4(em)	• b1-b2-b3-b5(no em) • b1-b3-b5 (em)	• b3-b4-b5 • b1-b3-b4 • b1-b2-b3-b4 (em)
Κανάλια που εμφανίζονται πιο συχνά:	b3	b3, b5	b3, b4
Ψηλότερο R^2 με ή χωρίς συντελεστή εκπομπής:	Με	Χωρίς	Ίδια

Σταθμός Capo Granitola (Urban)			
Καλύτερος συνδιασμός καναλιών:	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b2-b3 • b1-b4-b5 (em) • b2-b4-b5(em) 	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b2-b3-b4 • b2-b3-b5 • b1-b2-b5 	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b2-b4 • b1-b4-b5 (em)
Κανάλια που εμφανίζονται πιο συχνά:	<ul style="list-style-type: none"> • b1 • b2 (no em) 	b2	b1, b2
Ψηλότερο R^2 με ή χωρίς συντελεστή εκπομπής:	Με	Χωρίς	Με
Σταθμός Lamezia Terme (Broadleaved)			
Καλύτερος συνδιασμός καναλιών:	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b2-b3-b4 • b2-b3-b4 • b2-b4-b5 	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b2-b4-b5 • b1-b3-b5 	<ul style="list-style-type: none"> • b1-b3-b5
Κανάλια που εμφανίζονται πιο συχνά:	b2, b4	b1, b5	b1, b3
Ψηλότερο R^2 με ή χωρίς συντελεστή εκπομπής:	Με	Χωρίς	Ίδιο

Πίνακας 62: Συνοπτικά συμπεράσματα

Δεδομένα SENTINEL-5P

Όσον αφορά τη διαδικασία που πραγματοποιήθηκε για τα δεδομένα μονοξειδίου του άνθρακα από τον δορυφόρο Sentinel-5P, τα γενικά συμπεράσματα είναι τα ακόλουθα:

- Οι δορυφορικές μετρήσεις υποεκτιμούν την πραγματική κατάσταση.
- Στον σταθμό Monte Cimone, οι δορυφορικές μετρήσεις κατά μέσο όρο, εκτίμησαν συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα 58 ppb χαμηλότερη από την πραγματική.
- Στον σταθμό Capo Granitola, οι δορυφορικές μετρήσεις εκτίμησαν χαμηλότερη συγκέντρωση μονοξειδίου του άνθρακα κατά μέσο όρο 37 ppb.
- Δεν προέκυψε ένα καθολικό μοντέλο βελτίωσης εκτίμησης.

6.2 Μελλοντικές κατευθύνσεις

Η μελέτη της ποιότητας του αέρα με δεδομένα ECOSTRESS και Sentinel-5P, βρίσκεται σε πρώιμο στάδιο μιας και αυτά τα δεδομένα είναι διαθέσιμα από το πρόσφατο παρελθόν και έπειτα. Σε αυτό το σημείο αναφέρονται βασικές κατευθύνσεις που προτείνεται να εφαρμοστούν στο μέλλον για εκτενέστερη μελέτη του αντικειμένου.

- Συλλογή μεγαλύτερου πλήθους δεδομένων ελέγχου και τηλεπισκοπικών δεδομένων που θα είναι διαθέσιμα στη συνέχεια.
- Σύγκριση με δεδομένα από άλλους επίγειους σταθμούς.
- Μελέτη περιοχής με πιο πυκνό δίκτυο σταθμών.
- Συλλογή δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας και ανέμων για έλεγχο πιθανής συσχέτισης ή για χρήση τους σε πιο πολύπλοκα μοντέλα.
- Συμπερίληψη χαρακτηριστικών τροπόσφαιρας σε μοντέλα εκτίμησης.
- Περαιτέρω μελέτη του υποβάθρου χρήσεων καλύψεων γης.
- Συνδιασμός φασματικής πληροφορίας από άλλα δορυφορικά δεδομένα που σχετίζονται με κάλυψη γης.
- Διερεύνηση περισσότερων δεικτών.
- Διερεύνηση συσχετίσεων με χρήση άλλων μη γραμμικών μοντέλων παλινδρόμησης και νευρωνικών δικτύων.
- Περαιτέρω διερεύνηση και ανάλυση των σημείων που προκάλεσαν αποτυχία εμφανίσεων υψηλών συσχετίσεων.
- Αξιολόγηση επιπλέον προϊόντων του Sentinel-5P.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Bohui Tang, Zhao-Liang Li, 2008. Remote Sensing of Environment, Estimation of instantaneous net surface longwave radiation from MODIS cloud-free data. 112: pp. 3482-3492. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.04.004>.

Buchwitz, M. Reuter, O. Schneising, W. Hewson, R.G. Detmers, H. Boesch, O.P. Hasekamp, I. Aben, H. Bovensmann, J.P. Burrows, A. Butz, F. Chevallier, B. Dils, C. Frankenberg, J. Heymann, G. Lichtenberg, M. De Maziere, J. Notholt, R. Parker, T. Warneke, C. Zehner, D.W.T. Griffith, N.M. Deutscher, A. Kuze, H. Suto, D. Wunch, 2017. Remote Sensing of Environment, Global satellite observations of column - averaged carbon dioxide and methane: The GHG-CCI XCO₂ and XCH₄ CRDP₃ data set. 203: pp.276-295.

Colwell, R., 1983. Manual of Remote Sensing. Vol. 1 and 2. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Falls Church.

Haili Hu, Jochen Landgraf, Rob Detmers, Tobias Borsdorff, Joost Aan de Brugh, Ilse Aben, André Butz, Otto Hasekamp, 2018. Geophysical Research Letters, Toward Global Mapping of Methane With TROPOMI: First Results and Intersatellite Comparison to GOSAT. 45: pp.3682-3689. <https://doi.org/10.1002/2018GL077259>.

Hu, H., Hasekamp, O., Butz, A., Galli, A., Landgraf, J., Aan de Brugh, J., Borsdorff, T., Scheepmaker, R., and Aben, I., 2016. The operational methane retrieval algorithm for TROPOMI, Atmos. Meas. Tech., 9, 5423-5440, <https://doi.org/10.5194/amt-9-5423-2016>.

John R. Jensen, 2007. Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective, 2nd Edition.

Rajesh Kumar, Vincent-Henri Peuch, James H. Crawford and Guy Brasseur, 2018. Nature, Five steps to improve air-quality forecasts: A worldwide monitoring and modelling network would reduce the dramatic toll of air pollution on health and food production. 561: pp.27-29. doi: 10.1038/d41586-018-06150-5

Saitoh, R. Imasu, K. Shiomi, A. Kuze, M. Nakajima, Y. Niwa, T. Machida, Y. Sawa, H. Matsueda, K. Tsuboi, and A. Tsuruta, 2018. Light, Energy and the Environment, CO₂ and CH₄ observations by the thermal infrared band of GOSAT/TANSO-FTS and GOSAT-1/TANSO-FTS-2. in Light, Energy and the Environment 2018 (E2, FTS, HISE, SOLAR, SSL), OSA Technical Digest (Optical Society of America, 2018), paper FW5A.1. <https://doi.org/10.1364/FTS.2018.FW5A.1>.

Διαδικτυακοί τόποι

- Ευρωπαϊκός οργανισμός περιβάλλοντος, 2016, Κάθε ανάσα που παίρνουμε. <https://www.eea.europa.eu/el/simata-eop-2010/simata-2013/arthra/kathe-anasa-poy-pairnoyme>
- Clean AIR Better HEALTH. <https://www.cleanerairbetterhealth.eu/en/lisa/index.html>
- UCAR, 2006. <https://scied.ucar.edu/carbon-dioxide>
- UCAR, 2017. <https://scied.ucar.edu/carbon-monoxide>